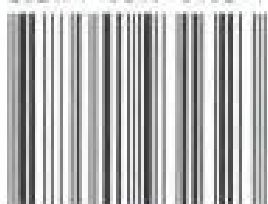


制浆造纸工程大全(第二版)

ZHIJIANG ZAOZHI GONGCHENG DAQUAN

ISBN 7-5019-3132-1



9 787501 931323 >

中国轻工业出版社
2005年10月第1版

芬兰 FCBS 国际有限公司赞助出版


北欧及北美本科教材

制浆造纸工程大全

(第二版)

[加拿大] G. A. 斯穆克 著

曹邦威 译 倪永浩 胡琦寅 审校

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制浆造纸工程大全 (第二版) / (加) G. A. 斯穆克著; 曹邦威译; 倪永浩, 胡琦寅审校.
北京: 中国轻工业出版社, 2001. 5
北欧及北美本科教材
ISBN 7-5019-3132-1

I. 制… II. ①斯…②曹…③倪…④胡… III ①制浆-高等学校-教材②造纸-高等学校-教材 IV. TS7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 12451 号

Copyright © 1992 by Gary A. Smook

Published by: Angus Wilde Publications Inc.

4543 West 11th Avenue

Vancouver, B. C. V6R 2M5

Canada.

FCBS International Ltd. is authorized to publish this Hand book in Chinese in
Cooperation with China Light Industry Press

责任编辑: 林 媛

策 划 人: 黎 艺 责任终审: 滕炎福 封面设计: 赵小云

版式设计: 智苏亚 责任校对: 李 靖 责任监印: 胡 兵

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 中国人民警官大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 27

字 数: 613 千字 印数: 1-3000

书 号: ISBN 7-5019-3132-1/TS·1893

定 价: 50.00 元

著作权合同登记 图字: 01-2001-0620

广告许可: 东京工商广临字 20010004 号

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

目 录

第 1 章 引言	(1)
1.1 纸的重要性	(1)
1.2 纸浆、纸和纸板的定义	(1)
1.3 造纸技术发展年表	(1)
1.4 现代制浆造纸的生产运行	(2)
1.5 对造纸纤维的要求及其来源	(4)
1.6 纤维化学组分的简述	(5)
1.7 纤维素纤维的特性	(8)
第 2 章 木材和木浆纤维的特征	(10)
2.1 树木结构.....	(10)
2.2 木材特征.....	(11)
2.3 纤维结构形态对纸张性能的影响.....	(18)
2.4 木材品种的鉴别.....	(20)
第 3 章 木材和木片处理	(22)
3.1 木材来源.....	(22)
3.2 木材采运技术.....	(23)
3.3 造纸材的计量.....	(28)
3.4 备木(调木)	(29)
3.5 木片的输送和贮存.....	(33)
3.6 木片质量控制.....	(35)
第 4 章 制浆方法概述	(38)
4.1 各种制浆方法介绍.....	(39)
4.2 商品浆.....	(44)
4.3 制浆的发展趋势.....	(45)
4.4 纸浆性能和用途的比较.....	(46)
第 5 章 机械法制浆	(48)
5.1 机械法制浆的术语.....	(48)
5.2 磨石磨木浆工艺.....	(50)
5.3 盘磨机械法制浆.....	(56)
5.4 热磨机械法制浆.....	(59)
5.5 化学改性机械法制浆.....	(61)

5.6	热回收	(65)
第6章	亚硫酸盐制浆	(67)
6.1	简要发展史	(67)
6.2	术语的名称和定义	(67)
6.3	工艺过程描述	(68)
6.4	亚硫酸盐法制浆的化学原理	(71)
6.5	蒸煮液制备的化学原理	(72)
6.6	蒸煮的操作和控制	(73)
6.7	两段亚硫酸盐法制浆	(74)
6.8	亚硫酸盐法制浆的前景	(75)
第7章	硫酸盐法制浆	(76)
7.1	发展简史	(76)
7.2	硫酸盐法工艺的名称和术语	(76)
7.3	硫酸盐法工艺简介	(77)
7.4	硫酸盐法制浆的化学原理	(79)
7.5	操作与控制	(82)
7.6	工艺过程的改进	(84)
第8章	蒸煮设备	(86)
8.1	间歇蒸煮器	(86)
8.2	传统间歇式硫酸盐蒸煮的改进	(89)
8.3	连续蒸煮器	(90)
8.4	锯末蒸煮	(96)
8.5	喷放热量的回收	(98)
第9章	纸浆的后处理	(100)
9.1	纤维解离	(100)
9.2	除节	(100)
9.3	本色浆洗涤	(102)
9.4	筛选	(109)
9.5	离心式净化 (Centrifugal Cleaning)	(115)
9.6	浓缩	(118)
9.7	浆料的泵送	(123)
9.8	纸浆的贮存与混合	(126)
9.9	外销商品浆的处置	(127)
第10章	化学品回收	(134)
10.1	黑液氧化	(135)

10.2	蒸发	(136)
10.3	碱回收炉	(140)
10.4	苛化	(149)
10.5	白泥焙烧	(152)
10.6	副产品回收	(156)
10.7	亚硫酸盐法废液的回收	(158)
10.8	硫酸盐法回收的其他方案	(160)
第 11 章	漂白	(162)
11.1	漂白流程	(162)
11.2	漂白化学品的制备	(164)
11.3	氯化与碱抽提	(169)
11.4	氧漂	(173)
11.5	次氯酸盐漂白	(175)
11.6	二氧化氯漂白	(176)
11.7	过氧化物漂白	(177)
11.8	臭氧漂白	(178)
11.9	漂白设备	(179)
11.10	滤液的循环	(180)
11.11	纸浆增白(机械浆漂白)	(181)
第 12 章	制浆厂的运行策略与经济核算	(185)
12.1	厂址选择	(186)
12.2	工艺设计与平面布置	(187)
12.3	生产控制	(188)
12.4	库存量控制	(189)
12.5	经济考虑	(190)
12.6	成本控制	(191)
第 13 章	抄纸浆料的制备	(194)
13.1	碎浆(分散作用)	(194)
13.2	精磨	(196)
13.3	配料的计量与混合	(206)
第 14 章	二次纤维	(208)
14.1	废纸收购	(209)
14.2	循环回用的程度	(209)
14.3	废纸的碎浆	(210)
14.4	除去污染杂质	(212)
14.5	脱墨	(213)

14.6	二次纤维的利用	(218)
第 15 章	抄纸浆料中的非纤维性助剂	(219)
15.1	纸机上的留着率	(219)
15.2	湿部化学	(220)
15.3	非纤维性助剂的应用	(222)
15.4	碱性抄纸	(226)
第 16 章	纸机湿部运行	(229)
16.1	纸机简介	(229)
16.2	流送系统 (Approach System 又称上浆系统)	(230)
16.3	布浆器与流浆箱	(232)
16.4	纸页成形的过程	(240)
16.5	网部 (长网机)	(241)
16.6	双网成形	(247)
16.7	白水系统	(249)
16.8	损纸系统	(251)
16.9	压榨部	(253)
16.10	真空系统	(263)
第 17 章	纸机干部的运行	(267)
17.1	纸张干燥	(267)
17.2	压光	(276)
17.3	分布控制	(279)
17.4	卷取	(281)
17.5	纸机传动	(282)
17.6	复卷 (Winding)	(283)
17.7	纸辊的完成	(284)
第 18 章	表面处理	(287)
18.1	施胶	(287)
18.2	颜料涂布	(291)
18.3	超级压光	(299)
第 19 章	多层纸板制造	(302)
19.1	多层成形器	(302)
19.2	脱水	(309)
19.3	纸板的整饰	(311)
19.4	层间强度	(311)
19.5	纸板的性能	(312)

第 20 章 常见纸与纸板品种制造技术	(314)
20.1 新闻纸	(315)
20.2 书刊纸	(319)
20.3 纸袋纸 (sack grades)	(320)
20.4 挂面纸板	(321)
20.5 瓦楞芯层	(323)
20.6 高级纸 (fine paper)	(323)
20.7 薄型纸类 (tissue grades)	(325)
第 21 章 纸机运行的经济分析	(330)
21.1 影响纸机效率的因素	(331)
21.2 时间损失的分析	(333)
21.3 生产纸种与利润率的关系	(335)
第 22 章 纸浆和纸张的性能及检测	(337)
22.1 检测的目的	(337)
22.2 检测步骤的特征	(338)
22.3 纸浆检测	(341)
22.4 纸张检测	(346)
22.5 自动化的纸张检测	(350)
第 23 章 纸张最终应用简介	(352)
23.1 平板纸整饰	(352)
23.2 加工	(356)
23.3 印刷	(358)
第 24 章 生产过程控制	(365)
24.1 测量和控制	(365)
24.2 过程控制计算机	(370)
第 25 章 纸厂辅助系统	(375)
25.1 供水	(375)
25.2 锅炉给水	(377)
25.3 锅炉操作	(378)
25.4 蒸汽利用	(383)
25.5 电力分配	(384)
25.6 能源管理	(385)
25.7 腐蚀的控制	(386)

第 26 章 水污染治理	(389)
26.1 引言	(389)
26.2 污染物的来源和厂内治理	(392)
26.3 标准和法规	(393)
26.4 环境监测	(394)
26.5 一级处理	(395)
26.6 二级处理	(397)
26.7 脱色	(400)
26.8 固形物处理	(401)
 第 27 章 空气污染治理	 (404)
27.1 空气污染物的来源	(404)
27.2 监控与测试	(406)
27.3 生产过程中的污染治理	(409)
27.4 控制设备	(410)

第1章 引言

1.1 纸的重要性

在现代生活中纸与纸产品对每个人的重要性是显而易见的，没有哪一种制成品对人类活动的各个领域比它有更深远的作用了。纸张提供记录、贮存和传播信息的手段；实际上所有书写和印刷任务都是纸张承担的。它是应用最广泛的包装材料，而且是重要的建筑材料。

纸与纸产品的用途实际上是无限的。新的专用产品被不断地开发。与此同时，造纸工业也觉察到了来自其他方面（特别是塑料和电子媒体）对传统上由纸张占领的市场的人侵和挑战。值得提出的是，由于采用了新技术和新方法，使造纸工业仍有可能在现有市场保持竞争力并接受新的挑战。

制浆造纸工业除了其产品及服务的出口外，还提供大量就业岗位，在美国和加拿大的总体经济中起到极其重要的作用。

1.2 纸浆、纸和纸板的定义

纸张传统上的定义是，纤维水悬浮液在一个细筛网上所形成的粘连状薄片。除了大多数纸张还含有非纤维性辅料（添加剂）这一点外，目前纸张产品一般与该定义是相符合的。干成形成方法现只用于制造少数特种纸产品。

纸浆是抄纸的纤维原料。纸浆纤维通常来源于植物，但动物、矿物或化学合成的纤维也可用于特定场合。用化学品加工形成非纸张类产品的纸浆称为溶解浆。

纸和纸板之间的区别主要是产品的厚度。通常将所有超过 0.3mm 厚度的薄片归入纸板类；但也有不少例外使这样的区别有些模糊化。

1.3 造纸技术发展年表

纸 (paper) 的名词是从芦苇状植物纸莎草 (papyrus) 衍生而来的。古埃及人通过锤打和压合植物茎的薄片，制成了世界上第一张书写的材料 (见图 1-1)。但它没有像真正抄纸那样完全的纤维解离作用。早在公元 100 年，中国首先利用竹子和桑树纤维悬浮液进行了真正意义上的纸张抄造 (公元 105 年东汉蔡伦发明用破布、鱼网、废麻等原料造纸——译注)。随后中国人将抄纸工艺发展成为一项高度熟练的技艺，古代中国人绘在纸上的许多优美画面，至今仍然保存着。

在经历数个世纪后，造纸技艺传入了中东，稍后抵达欧洲，在欧洲，棉麻破布成了主要原料。15 世纪初，在西班牙、意大利、德国和法国有许多纸厂。在北美的第一家纸厂是

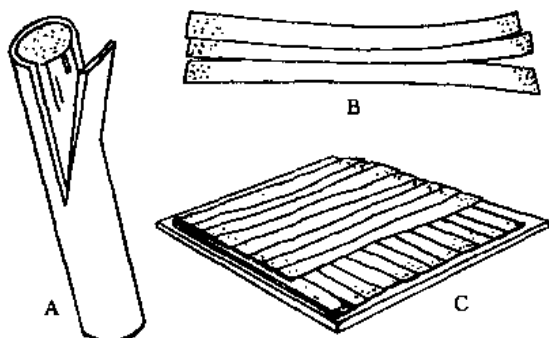


图 1-1 切成 300~450mm 长的纸莎草秆部

(A) 除去外皮并将髓部劈成薄片

(B) 然后将薄片叠成格栅状

(C) 捣击成单张纸页

1690 年建立在 Philadelphia 附近。

制浆造纸历史发展中的若干重要里程碑汇总在表 1-1 中。这些发明及其研制的模型机奠定了现代造纸工业的基础。在 20 世纪这类早期的和相当原始的技术有了迅速的革新和改进,并开发出了诸如盘磨机械制浆、连续蒸煮、连续多段漂白、机内纸张涂布、双网成形和计算机过程控制等技术。因为纸浆和纸的生产需要连续运送大量的物料,物料输送的机械化往往是造纸工业发展的一个重要方面〔要进一步详细了解造纸工业的早期历史,可参阅参考文献 (1) 和 (2)〕。

表 1-1 制浆造纸工业发展的里程碑

1798	授予 Nicholas-loais Robert 第一台连续抄纸机的专利 (法国)
1803, 1807	将由 Dohkin 设计的改良式连续抄纸机的专利授予 Fourdrinier 兄弟 (英国) (见图 1-2)
1809	将圆网纸机专利授予 John Dickinson (英国)
1817	美国建成第一台圆网纸机
1827	美国建成第一台长网纸机
1840	开发出磨石磨木浆法 (德国)
1851	首次用烧碱法制取木浆 (英国)
1867	将亚硫酸盐制浆法专利授予 Benjamin Tilghman
1870	磨石磨木浆工艺首次获得商业应用
1874	亚硫酸盐法首次获得商业应用
1884	Carl Dahl 发明硫酸盐法制浆 (德国)

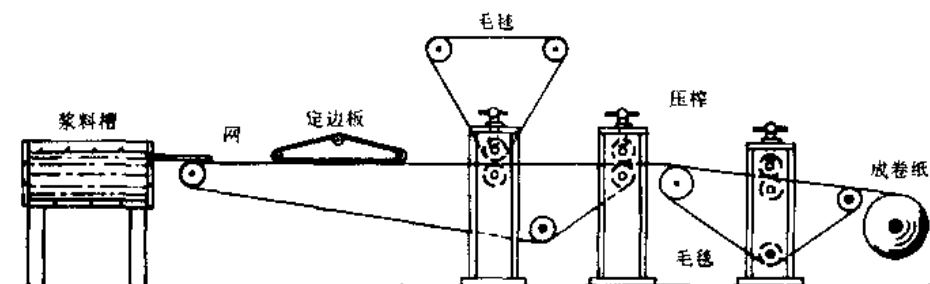


图 1-2 1803 年的改良式抄纸机

1.4 现代制浆造纸的生产运行

现代制浆造纸厂利用木材剩余物作为基本原料。生产运行高度自动化,而且许多工厂现在都用计算机控制。在北美,一般大型工厂由于劳动生产率高,总体经济效益较好。所以有存活能力的现代化工厂建设投资是非常大的。例如,一个日产 1000t 的新建漂白硫酸盐法浆厂目前的投资估计要超过 10 亿美元。高的投资额 (一般每个员工占用投资额超过 100 万美元) 使制浆造纸工业称得上是一个资金密集型工业。

林产品综合性工厂的经济效益也很好,在这些综合工厂中,木材首先送到木材厂制取高价的锯木板、胶合板和刨花板。然后将木材残余物切成木片,输送到下一道工序,加工制成纸浆。最后将纸浆运送到综合工厂的第三个部门,抄造成纸张。木材纤维原料的高价值及其庞大的体积,要求以尽量少的运输量取得完全和最佳化的利用。

造纸业中那些用机械法制浆的造纸厂动力消耗很大。而有可能利用木材废料作燃料的其他一些厂,则能源可自给自足。所有传统的制浆造纸生产,实际上都使用大量清水,在厂址

所在地需要有丰富的水源。通常，在排水进入江河受体以前都要有复杂的废水处理系统。

美国和加拿大一般性产品的分类产量示于表 1-2。造纸工业的若干统计数字示于表 1-3。加拿大在新闻纸和商品浆出口方面处于世界领先地位。美国由于从加拿大购买大量新闻纸，实际上是一个纸张产品的净进口国，但它又在高附加值纸张的出口方面居于领先地位。

表 1-2

1990 年生产量

单位: kt

纸 张	美国*	加拿大**
新闻纸	6610	9068
其他书写印刷纸	22371	3599
包装纸	4376	497
薄型纸	5802	495
总计	39359	13659
纸板		
挂面/瓦楞纸	25097	2045
其他纸板	14326	761
总计	39123	2806
纸和纸板总计	78782	16465
纸浆产量总计	37214	22835

来源: * API

* * CPPA

表 1-3

1989 年造纸工业上的几个统计数字*

	美国	加拿大
纸浆厂数量**	345	179
纸和纸板厂数量	601	129
工厂员工数量	246300	81000
产品价格美元/短 t		
漂白软木硫酸盐浆	740	
漂白硬木硫酸盐浆	690	
新闻纸 (49g/m ²)	540	
电话薄用纸 (36g/m ²)	850	
1#印刷纸 (113g/m ²)	1600	
挂面纸板	410	
瓦楞芯纸	390	
全漂白硫酸盐浆纸板	730	

* 不同来源

* * 有一个以上的浆厂很可能在纸与纸板厂内

由于丰富的木材、电力和水资源、现代化技术、熟练的劳动力和接近市场等方面的优势，北美制浆造纸工业在产量以及产品多样性方面居于世界领先地位。我们注意到，美国和加拿大一起，占全世界人口的 5%、纸厂的 15% 和纸产量的 36%。在其国内的市场中几乎没有外来的竞争者，纸业一直为少数北美工业国家所垄断。在 1980 年，大多数工业评论员都承认，北美的制浆造纸工业是世界上成本最低的。但在一段不太长的时间内，情况已发生急剧变化。今天，一些海外生产者实际上已能将产品输入到北美，即使扣除运输费用，在产品成本上仍

然具有竞争性。

在当前全球化时代,浆纸出口市场的竞争激烈,北美造纸工业不能停留在它的成就上。在世界亚温带地区迅速发展起来的短轮伐期松木和硬木林地,将在未来生产中提供大量低成本的制浆木材。像巴西和智利那样的国家,已经成为纸浆纤维的重要生产者。俄罗斯作为一个林产品竞争者继续受到注意,它的木材资源是世界上最巨大的,采伐量基本是目前北美的一倍。

幸而,长期展望表明,世界对全部纸浆和纸产品的需求量将持续增加,所以外来的竞争力量在可预见的未来,不会对北美市场形成负面影响。在世界其他地区的人均消费量远远低于北美水平,且显示数十年来均有实质性增长。图 1-3 的消费数字有力地表明,纸产品使用量的日益增加,将是发展中国家经济增长的必然结果。

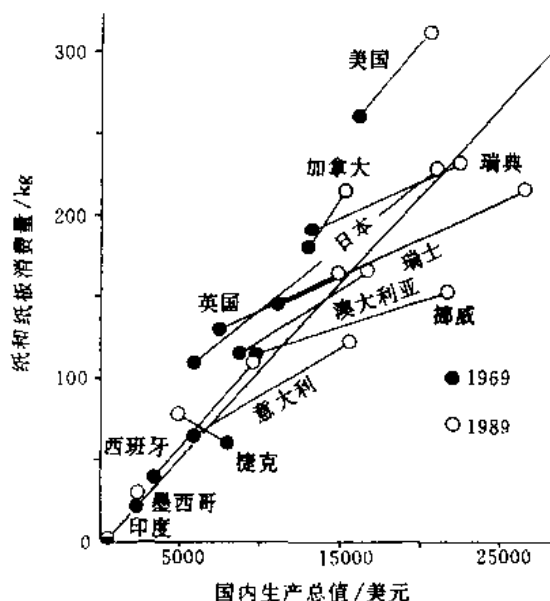


图 1-3 图表显示以 1989 年美元计的

人均国内生产总值

(---一个国家人均经济水平估测值)与人均纸和
纸板消费量之间的密切关系

1.5 对造纸纤维的要求及其来源

为了使纤维可用于造纸,它们必须是均一的,即能够被交织和压制成一个匀称的薄片。在接触处还必须具有强大结合力。对于有些用途,纤维结构必须长时间地保持稳定状态。纤维一致性的程度以纸页匀度来表征和量测,而结合力的大小则以纸页的抗张或耐破强度来加以推断。

有些重要的抄纸用浆由于其纤维不具有均一性和没有结合力,在其原来状态时无法加以利用。这些纸浆必须进行机械处理,以发展出其造纸性能。例如,棉麻破布(它们仍被用作最高质量的耐久纸的纸浆来源)就必须深度加工以发展出所需要的纤维性能。

纸浆纤维可从自然界所发现的几乎任何维管植物(Vascular plant)中提取出来。但要植物具备重要的抄纸经济价值,必须要有高含量的纤维。纸浆纤维的主要植物源列于表 1-4。

木材绝对是造纸纤维的最丰富来源,在北美,木材实际是造纸的唯一原料。因此,本书集中于将木材作为主要的制浆原料。

表 1-4

各种纸浆纤维的平均长度、平均直径和长径比

	长度/mm	直径/ μm	长径比
木材类			
针叶木	4.2	40	100
阔叶木	2.0	22	90
禾草类			
稻草	0.5	9	60
西纸牙草	1.1	10	110
其他(麦草、黑麦草印度草)	1.5	13	120

续表

	长度/mm	直径/ μm	长径比
甘蔗和芦苇			
蔗渣	1.7	20	80
其他	1.2	12	100
竹子类			
各品种	2.8	15	180
带韧皮纤维的木质茎秆（黄麻、亚麻、苧麻、大麻）			
木质茎秆	0.25	10	25
韧皮纤维*	20	20	1000
韧皮类纤维*			
亚麻	55	20	2600
苧麻	130	40	3500
叶类纤维			
马尼拉麻	6	24	250
剑麻	2.8	21	130
种子类纤维			
棉花	30	20	1500
棉短绒	20	20	1000

* 从内皮得到的纤维

除了种毛纤维外，植物纤维在其天然状态都是埋藏在非纤维物质（主要是木素、还有半纤维素、树脂和树胶）层中。制浆厂中的化学和机械作用使纤维从木素层中分离出来，最终所得纤维的纯度视最后用途而定。所要求的纯度愈高，纤维得率愈低。

1.6 纤维化学组分的简述

纤维素

在植物纤维中，纤维素是决定纤维特征，并使它能应用于造纸的物质。纤维素是碳水化合物，这意味着它由碳、氢和氧所组成，其后两种成分的比例跟水分子一样。纤维素也是多糖，表明它含有多个糖单元。

纤维素的化学式是 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ ，这里 n 是重复的糖单元数量或聚合度（DP）。 n 值的多少视纤维素的各来源和所受到的加工处理情况而变化（见表 1-5）。大多数造纸纤维的加权平均聚合度为 600~1500。

纤维素的结构示于图 1-4。其重复性单元实际上是两个联在一起的葡萄糖酐单元称之为纤维二糖（ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ）。纯纤维素单元在受控（酸性）条件下可以很容易地水解成葡萄糖（ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ）。

组合纤维素时的聚合连接作用，使链型呈伸展状态。因此纤维素分子适于联合成较长的链段，增大了结合强度，这是纤维素物质具有高强度的原因所在。

研究发现，植物中的纤维素呈好几种有序的排列状态，如图 1-5 所示。在这里，纤维素分

表 1-5 聚合度值（加权平均）

天然纤维素（在原处）	3500
纯棉短绒	100~3000
工业木浆	600~1500
再生纤维素（如人造纤维）	200~600

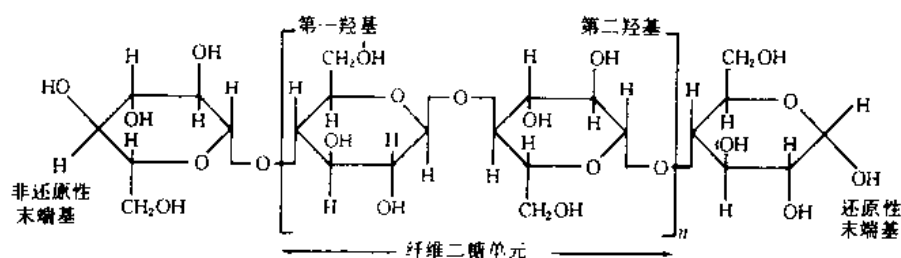


图 1：纤维素结构

子联合成长链段，形成的结晶区域，不易为溶液或反应剂渗透。反之，相当多量的非结晶区（无定形区）则易于被渗透，因而对水解反应更为敏感。纤维素的显微和亚显微结构进一步列于图 1-6。

纤维素物质的性能与纤维素组分的 DP 有关。分子量低于某个水平将使强度受到影响。

长链纤维素称为 α 纤维素。大量的短链多糖总称为半纤维素，它也是植物木质结构的组成部分。半纤维素（以及降级的纤维素）可进一步按 DP 区分（通过化学方法）为：

- β 纤维素——DP 在 15 与 90 之间、
- γ 纤维素 DP 低于 15。

半纤维素

与纤维素相反，半纤维素不只是葡萄糖的聚合物，它是五种不同糖类的聚合物，即：

- 己糖：葡萄糖、甘露糖、半乳糖
- 戊糖：木糖、阿拉伯糖。

根据植物品种的不同，这些糖类和糖醛酸形成各种聚合物结构，有些与植物的纤维素部分相联结，而另一些则与木素紧密相联。

在用木材生产纸浆的化学处理过程中，各种半纤维素的数量、位置、和结构通常有很大变化。

半纤维素比纤维素更易于降解，所以它们在纸浆中的百分含量往往比在原木中要少得多。

木素

术语“综纤维素”代表纤维的总碳水化合物含量。木质植物原料除综纤维素外，还含有称为木素的非结晶高聚物质。它的主要作用是组成胞间层，这是将纤维粘结在一起的胞间

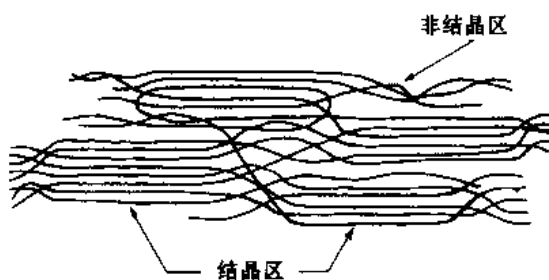


图 1-5 纤维素微纤维内部的分子组织简图

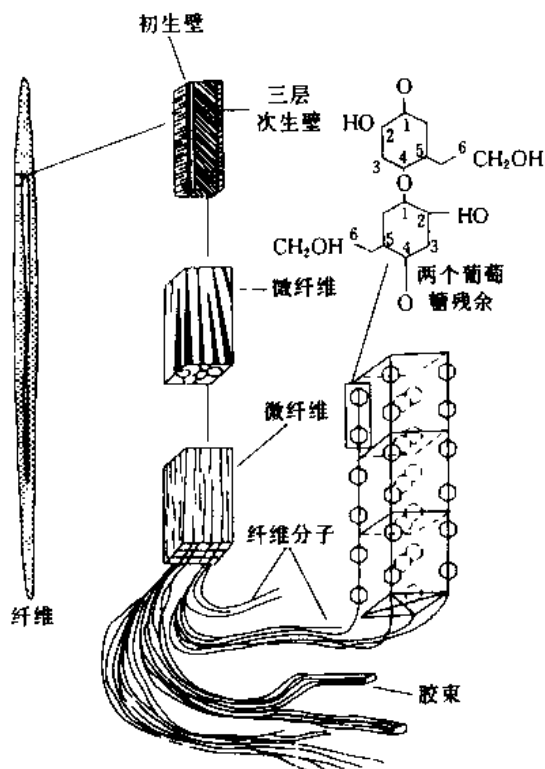


图 1-6 纤维素的显微结构和亚显微结构 (Bruley)

物质。另外部分木素还存在于纤维的其余截面内。

木素的化学组成非常复杂(见图1-7)。其结构主要是由三维苯丙烷单元链接而成。在进行化学制浆时,丙烷侧链和苯环之间的一个键断裂而将纤维素纤维解离开来。

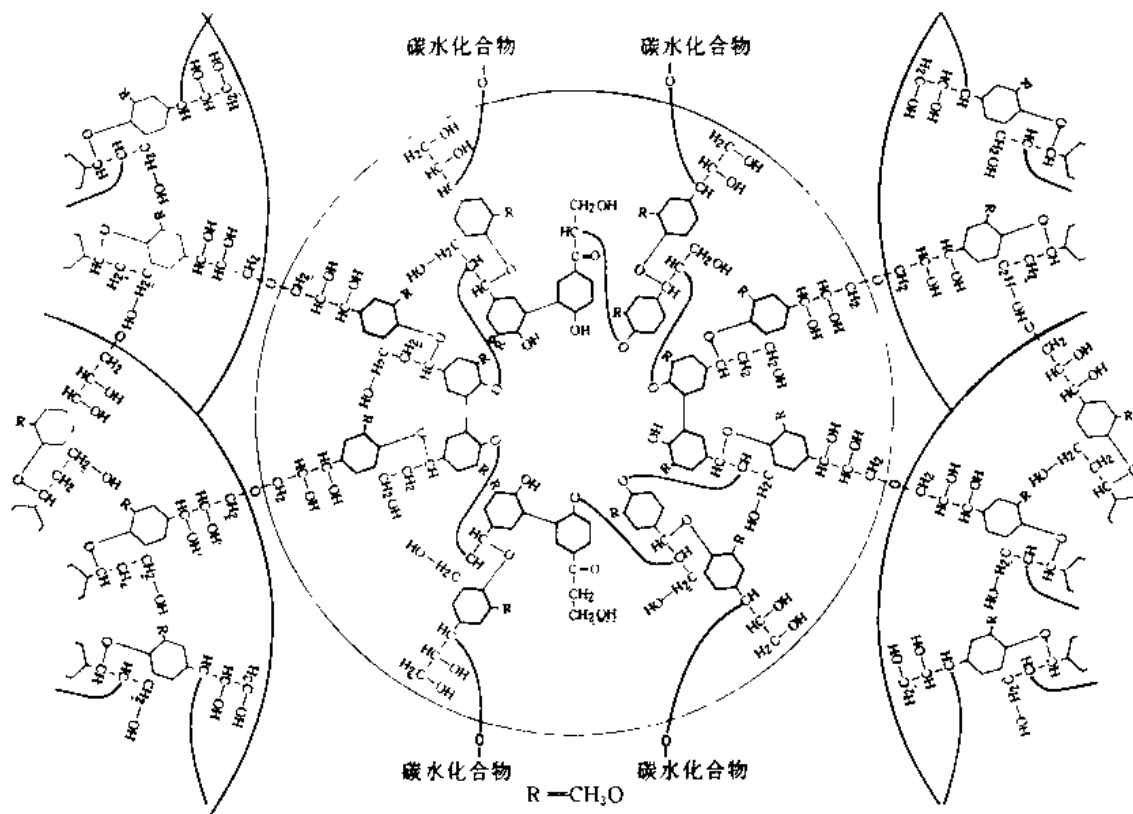


图 1-7 云杉木素重复性单元的二维示图

(1966年由Forss, Fremor和Stenlund)

注意:其实际结构是三维图

全面讲述纤维素和木素的化学机理,显然不属于本书范围。读者要想全面了解可参阅专门的教科书〔参考文献(3)和(4)〕。

抽提物

除纤维素和木素外,在天然纤维中因植物来源的不同,还可能存在大量的各种物质,例如树脂酸、脂肪酸、萜烯(turpenoid)化合物和醇类。这些物质大多溶于水或中性有机溶剂中,总称为抽提物。在北美的树种中,绝干木材的抽提物含量大都低于1%。南方松的抽提物含量相当高,在碱法制浆中它可提供不少塔罗油和松节油副产品。

木材的化学成分列示于图1-8。简图所示木材组分的化学分析见图1-9。

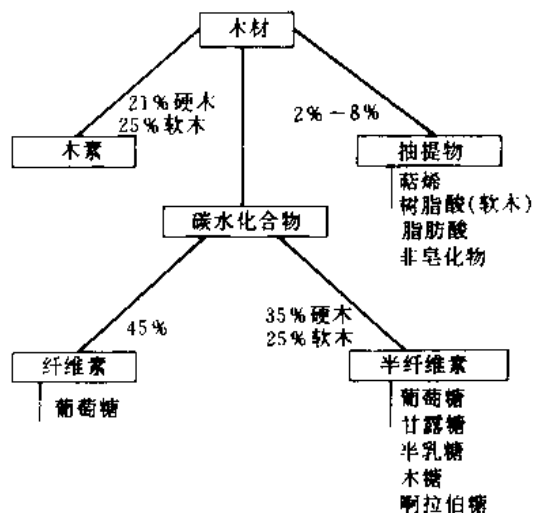


图 1-8 木材的化学组分

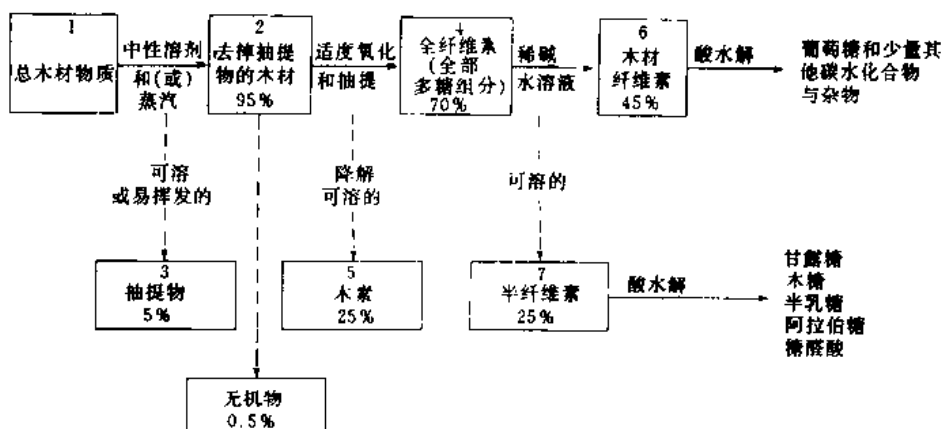


图 1-9 木材组分的化学分析示意图 (Bruley)

1.7 纤维素纤维的特性

纤维素纤维具有许多满足造纸需要的性能（汇总在表 1-6 中）。通常产生造纸性能的最佳平衡点是在纤维中大多数木素已脱除而尚留下相当量的半纤维素时。依靠机械处理（如打浆或磨浆）也可大大改善造纸性能，机械处理促使纤维脱除初生壁，并使纤维水化（即让水进入纤维结构中）和润胀，增加其柔韧性和结合力。在打浆过程中，手抄化学浆片强度性能的典型行为列示于图 1-10。

表 1-6 纤维素纤维的造纸性能

- 高抗张强度
- 抗塑变性
- 内在结合能力
- 化学稳定性
- 柔软度（柔韧性、可适应性）
- 水不溶性
- 亲水性
- 吸附改性助剂的能力
- 相对地无色（白色）

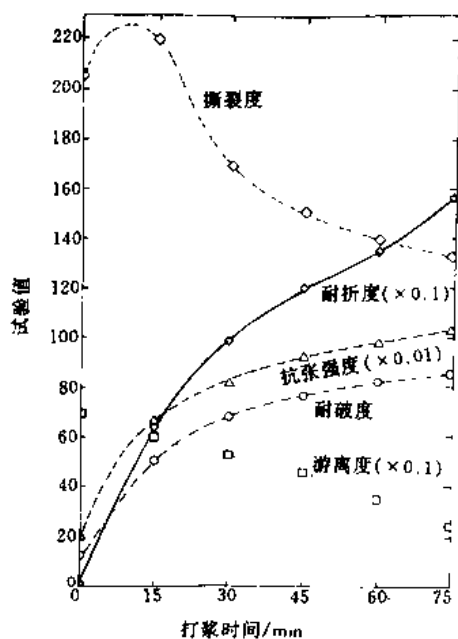


图 1-10 软木化学浆实验室打浆的典型行为

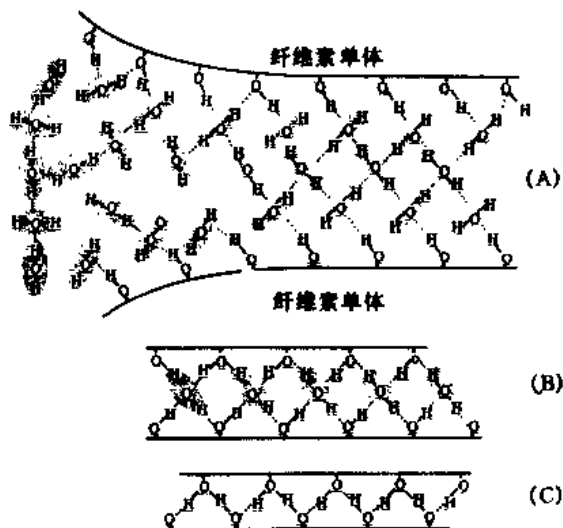


图 1-11 列示氢键的不同状况

(A) 宽松地通过水分子 (B) 较紧缩地通过单层水分子 (C) 直接连在一起

因为造纸过程发生在水溶液介质中，所以纤维素的亲水性很重要。纤维容易吸水且极易在悬浮水溶液中分散。当湿纤维在纸页成形过程中集聚在一起时，因水分子之间以及水分子与附于纤维表面的氢氧基之间的极性吸引，使结合力增加。随着水分从成形纸页被蒸发掉，纤维表面的氢氧基借氢键而最终联接在一起，如图 1-11 所示。

虽然单个纤维素纤维一般都有较高的抗张强度，但纸张的强度性能更取决于纤维之间的结合力。打浆或磨浆势必以损害单个纤维的强度而强化结合力。当然，原纤维强度又跟原料特性与制浆方法有关。

因为制造纸产品时经常使用非纤维性助剂，在纸页成形的生产过程中，纸浆纤维保持住大量助剂的能力是很重要的。过滤性、化学键结合力、胶体现象和吸附作用均与粒子的留着率有关。较大的颗粒有利于过滤性，但另外一些作用对保留较小的颗粒和胶体物质更为重要。纤维吸附可溶性填料的能力取决于纸浆纤维的相对化学亲合力，颗粒留着机理则依靠絮凝沉淀和颗粒的动电电荷优化调整面得以加强。

参 考 文 献

- (1) HUNTER, D. **Papermaking: The History and Technique of an Ancient Craft** (2nd Edition) Albert A. Knopf, 1957
- (2) CLAPPERTON, R. H. **The Papermaking Machine. Its Invention, Evolution and Development** Pergamon Press, 1967
- (3) SJOSTROM, E. **Wood Chemistry Fundamentals and Applications**. Academic Press, 1981
- (4) NEVELL, T. P. and ZERONIAN, S. H. (Editors) **Cellulose Chemistry and Its Applications** John Wiley & Sons, 1985

第2章 木材和木浆纤维的特征

木材是制浆造纸用纤维的主要来源。当前，木材提供了全世界原纤维需要量的93%左右，其余则由非木材纤维原料（主要是蔗渣、禾草和竹子）提供。所有纸产品约有1/3又作为二次纤维循环回用。

2.1 树木结构

一棵树大体可分为三个部分：

- 由树叶和树枝组成的树冠
- 树干
- 根部系统

树叶（或树针）是通过光合作用制造养料的工厂，向树木供能和使其生长。光合作用是在有叶绿素和光线的情况下从二氧化碳和水制造出碳水化合物。

虽然树冠是生成木材的营养源和调节中心，但木材不是直接由光合作用生成的。或者说木材是借光合作用产物派生出的能量——维管形成层的细胞区生成的。在形成层细胞区后，各细胞接连扩增，使细胞壁加厚并木质化。

图2-1显示了一个展现基本结构的树干剖面图。图2-2显示了一个横断面示意图。形成层由树皮与内边材之间的一个薄层细胞组织所组成。在温和气候，形成层生长的速率随季节而变。在春季生长薄壁纤维细胞，而在秋季则生长较紧密的厚壁纤维。在每年的寒冷季节，形成层停止生长。每年生长的循环周期反映在年轮上，年轮总数则代表树龄。

内皮（韧皮）是一个狭层细胞组织，在这里，富含碳水化合物的树汁，通过筛管和射线上下流动。外皮是一群死亡细胞，它原先存在于活的内皮中；它是由纤维素、半纤维素和木素以及许多其他

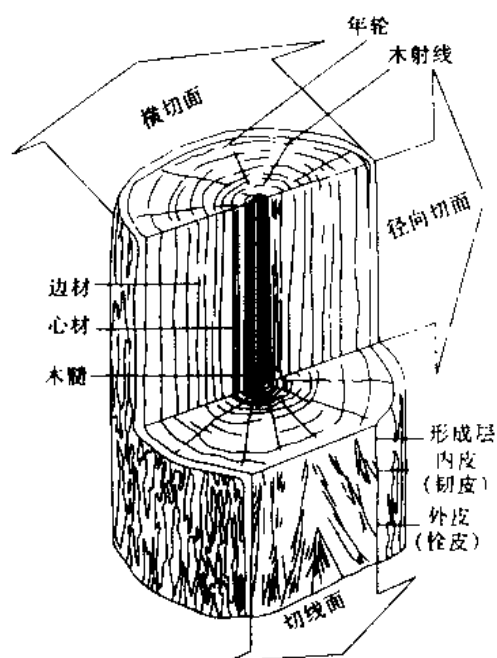


图 2-1 木材剖示图表示出木材结构和横断面 (J. H. DeGrace)

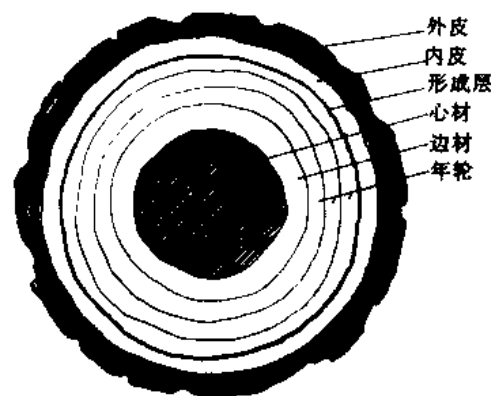


图 2-2 成熟树干的横断面示意图，显示出外皮、内皮、边材和心材

成分所组成。

树木的边材部分提供树冠的结构支撑，其作用好似一个食物贮库。并起到将水从根部向上输送的重要功能。它在生理上是活的（只是薄壁组织细胞），并通过从树冠流来的树汁不断地与形成层和韧皮进行交流。

在树干中心，心材是死亡木细胞的核心部分，它的生理活动已经终止。其功能只是作为结构支撑。心材由于在细胞壁和腔中沉积了含脂有机化合物，颜色一般比边材深得多。在化学法制浆时，这类沉积物使药液在心材比边材更难渗透。有少数材种（特别是云杉），心材与边材之间的颜色差别很小。在树木中心，有一个细小的软细胞组织的核心，称为木髓。

2.2 木材特征

按植物分类，木材可分成两大类。裸子植物通称软木或针叶树。被子植物称硬木或阔叶树，或称落叶树或常绿树。每个树种的主要结构特征示于图 2-3 和图 2-4。

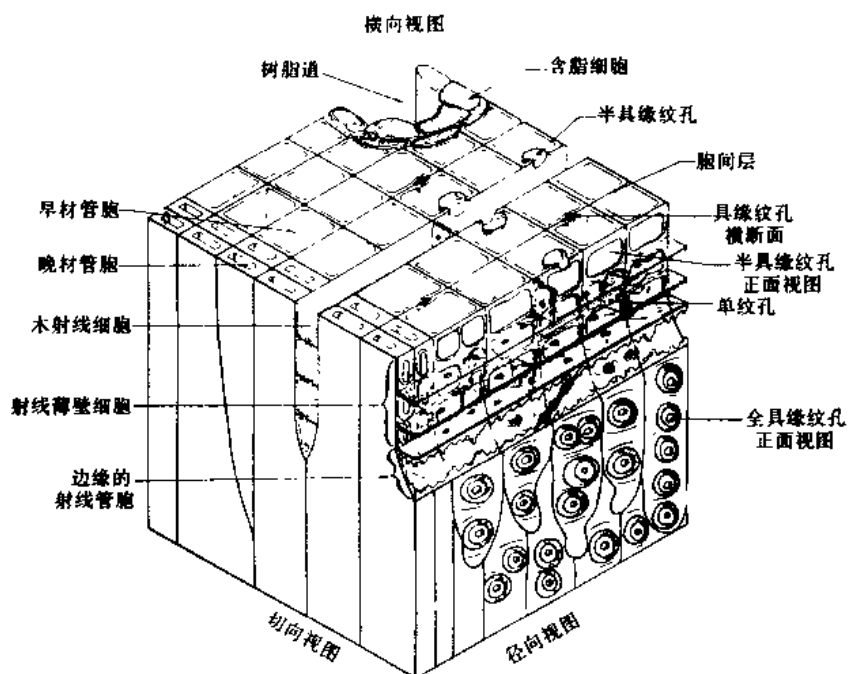


图 2-3 列示出软木结构特征的综合木材视图 (Hyland)

软木

针叶树的直立结构几乎全部由称为管胞的长锥形细胞所组成。在有些材种中还存在垂直的树脂道 (resin canal)。水平系统由狭窄的射线细胞组成，只有一个细胞宽，而常有好几个细胞高。射线细胞有两个特定形式：射线薄壁细胞存在于所有材种中，而射线管胞则只存在于某些材种中。

季节性生长的特征，一般是在年轮的端部有密度较大的管胞。晚材（夏材）细胞组织的性能跟早材（春材）有很大不同，后者的密度可能只有前者的 $1/2$ 或 $1/3$ 。细胞壁本身有相当高的密度（相对密度），约为 1.5（绝干木材）。

典型的管胞或“纤维”的壁由好几层组成。木素含量极高的胞间层，将两个相邻的管胞

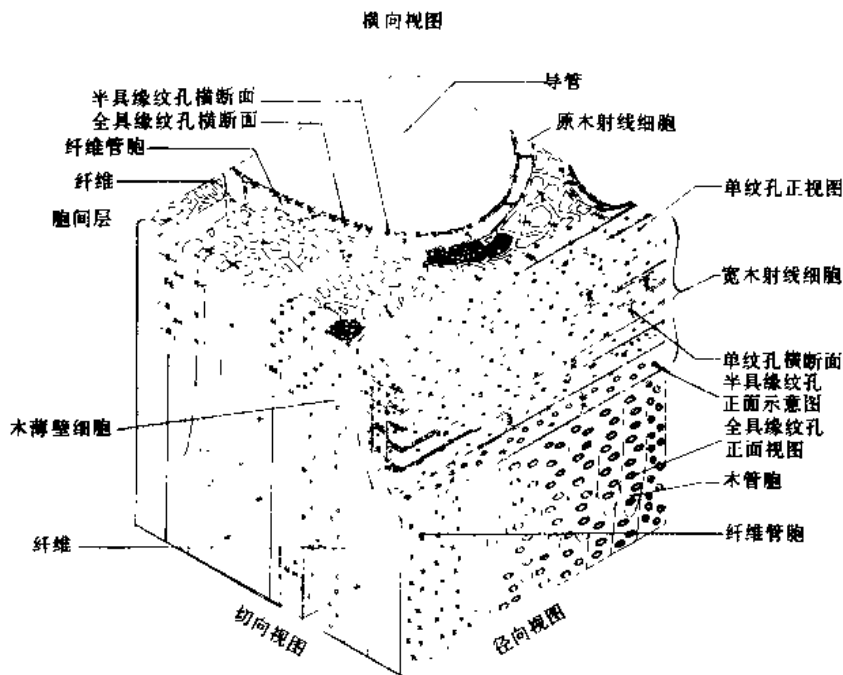


图 2-4 列出硬木结构特征的综合木材视图 (Hyland)

分开。每个管胞具有一个初生壁和一个三层的次生壁，由特定排列的微纤丝组成，微纤丝是成束的纤维素分子，它们的排列方向可以影响纸浆纤维的特性。管胞的结构组成列示并解释在表 2-1 或图 2-5 中。注意，符号 S₁ 和 T 是可互换的。图 2-6 列出了有关微纤丝层次、排列和结构的细节。

表 2-1 软木管胞的分层 (直径 20~40μm)	
胞间层 (ML)	—结合在纤维之间，含很多木素。
初生壁 (P)	一个很难渗透的薄层，厚约 0.05μm
次生壁 (S)	占细胞壁的很大部分：形成二个具有不同微细纤维丝排列特点的清晰分层： <ul style="list-style-type: none">• S₁ 是次生壁的外层 (0.1~0.2μm 厚度)• S₂ 形成纤维的主体，厚度从 2μm 至 10μm• S₃ 是次生壁的内层 (厚度约 0.1μm)
第三层壁 (T)	与 S ₃ 相同
细胞腔	纤维的中心通道 (中空)

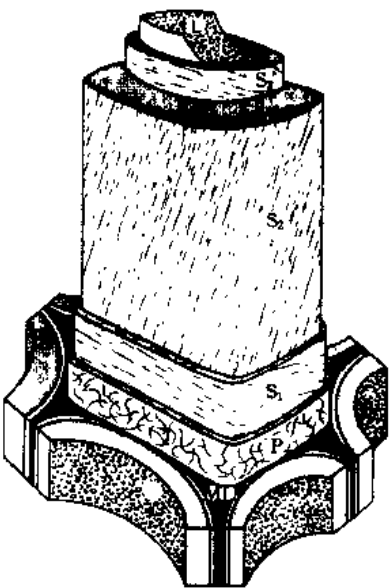


图 2-5 细胞壁组织图

北美软木[“典型”松木、美国西部侧柏(Western red cedar)、花旗松(Douglas fir)、铁杉(Hemlock)]的四种径向剖面的放大图示于图 2-7 至图 2-10。注意其各材种的特征，和早材与晚材之间细胞壁的不同厚度。云杉木材的三维视图示于图 2-11 和放大的图 2-12 和图 2-13。

硬木的垂直结构主要由称为木纤维的较细长的细胞所组成，而较短粗的细胞则称为导管。在典型的硬木试样中，导管直径往往很大，在横断面上很容易被肉眼识别为细孔，在垂直面上好似一系列长长的沟纹。硬木还有一个垂直的薄壁细胞系统和一个水平的射线型的薄壁细胞系统。

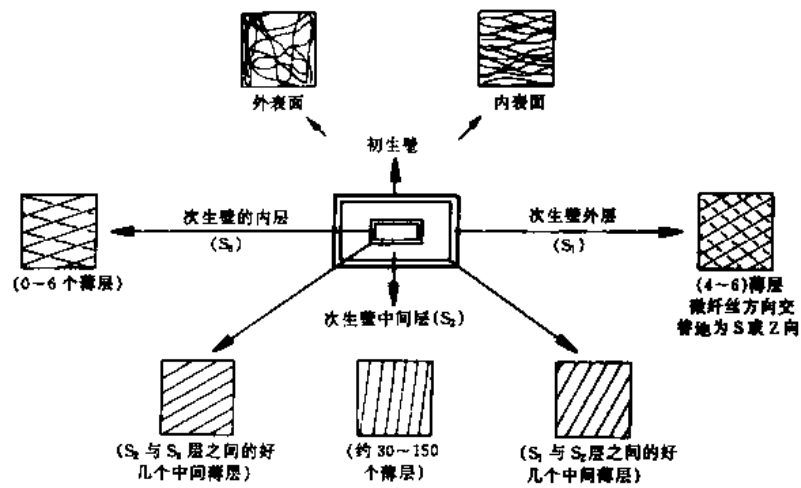


图 2-6 显示微细纤维结构的细胞壁组织
(Wardrop and Harada)

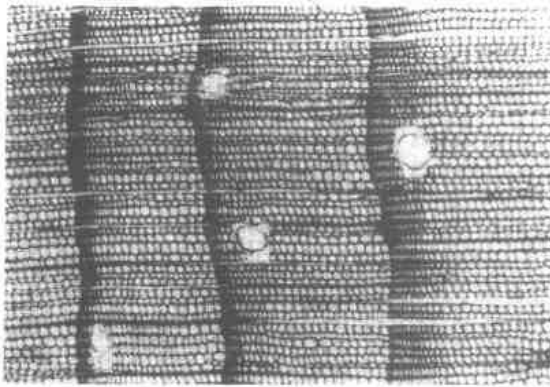


图 2-7 “典型”松木的剖面图显示出年轮、早晚材差别和树脂道
(MacMillan Bloedel 科研公司)

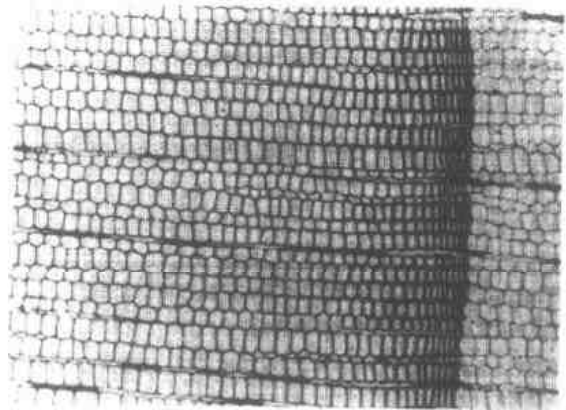


图 2-8 美国西部侧柏的剖面图显示出年轮和早晚材差别
(MacMillan Bloedel 科研公司)

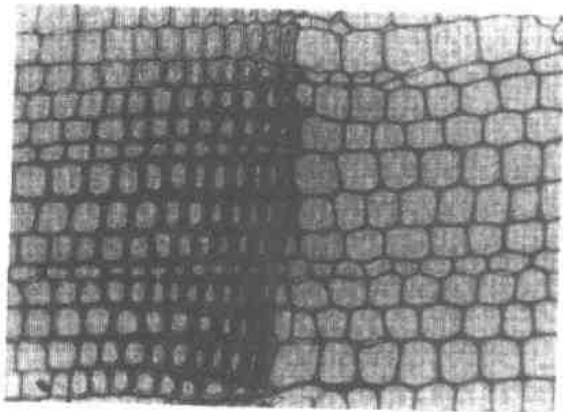


图 2-9 花旗松的剖面图显示出年轮和早晚材差别
(MacMillan Bloedel 科研公司)

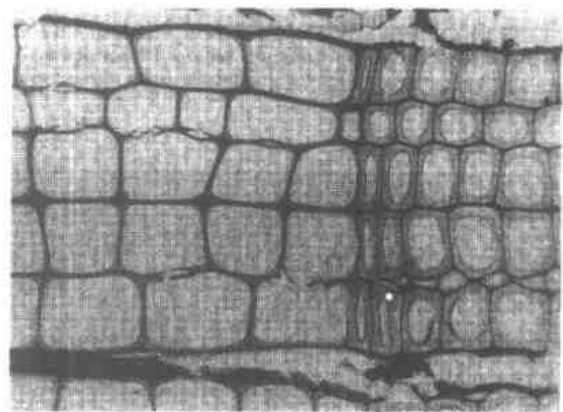


图 2-10 铁杉的剖面图显示出年轮和早晚材差别
(MacMillan Bloedel 科研公司)

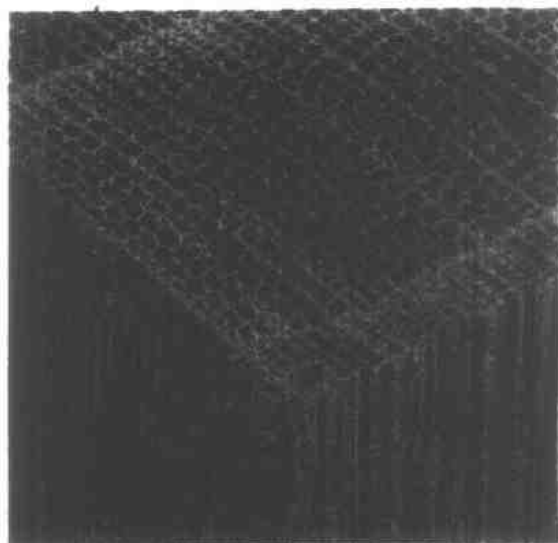


图 2-11 Sitka 云杉小方木
(Forintek 加拿大西部实验室的显微照相)

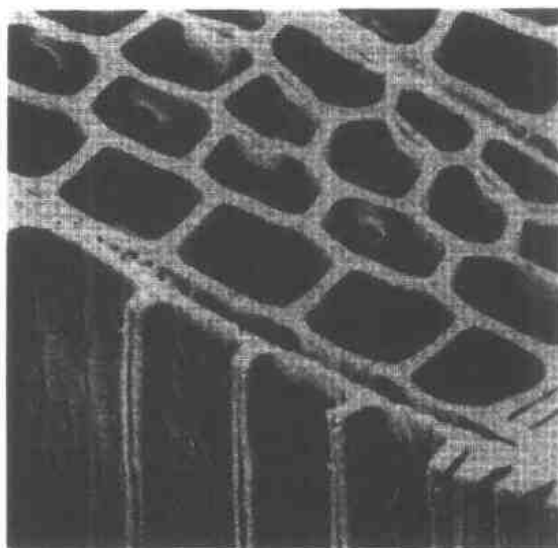


图 2-12 显示出径向上交叉区纹孔和
横向上射线的 Sitka 云杉
(Forintek 加拿大西部实验室的显微照相)

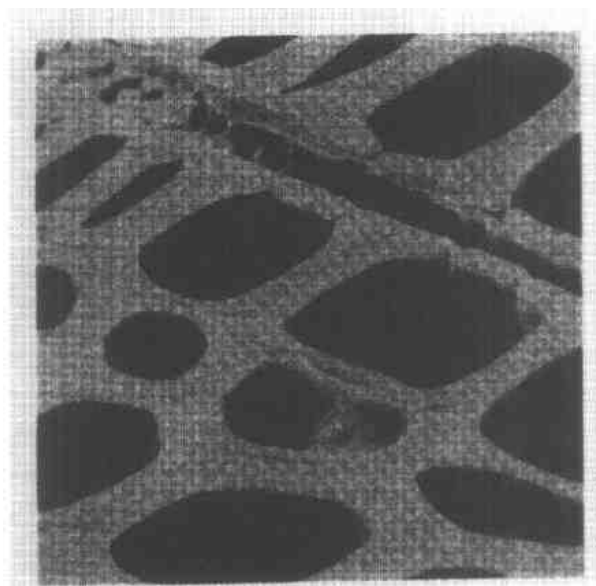


图 2-13 Sitka 云杉高度放大的横剖面
(Forintek 加拿大西部实验室的显微照相)

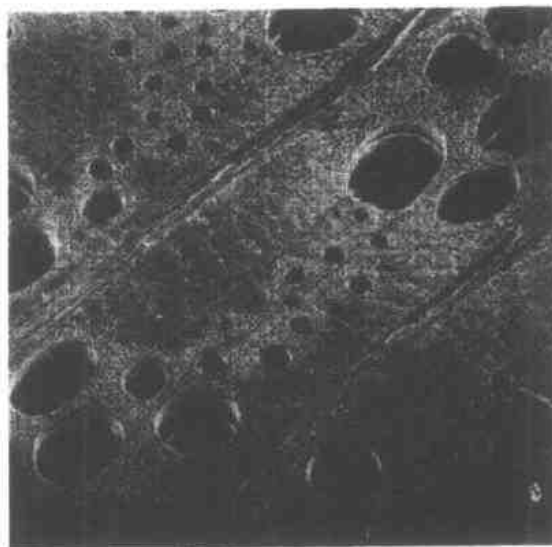


图 2-14 红栎木的横剖面显示出环孔木情况
(Forintek 加拿大西部实验室的显微照相)

在一个年轮之内，从早材至晚材的导管直径是不同的。如果这个差别很大而且过渡很急剧，就很容易辨别，这类木材称为环孔材 (ring-porus) (图 2-14)。另一些木材，其导管直径的变化较小且比较缓慢，称为散孔材 (diffuse-porous) (图 2-15)。散孔白桦木的三维视图示于图 2-16。

软木与硬木的差异

软木与硬木 (如云杉与桦木) 之间在各种纤维细胞的重量和体积比率方面差别很大，示于表 2-2。另一主要差别是纤维的长度；木材生长年龄与纤维长度之间的典型关系 (图 2-17) 表明，软木纤维的要比硬木纤维长 1 倍以上。

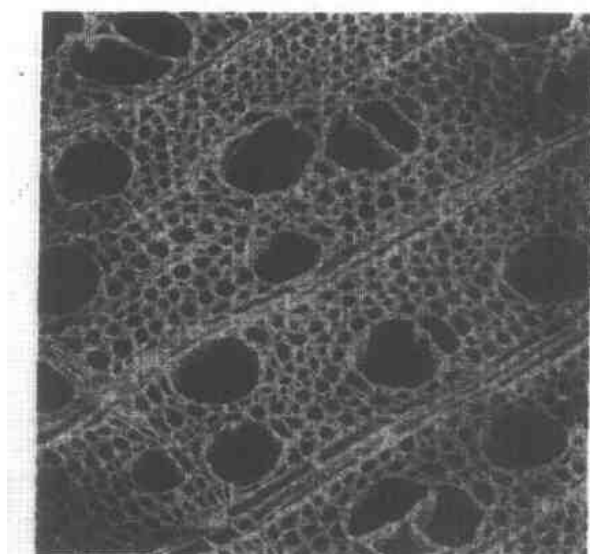


图 2-15 大叶槭木的横剖面显示出散孔木情况
(Forintek 加拿大西部实验室的显微照相)



图 2-16 白桦木小木方
(Forintek 加拿大西部实验室的显微照相)

表 2-2 云杉与桦木的细胞类型

	纤维比例/%		导管比例/%		薄壁细胞比例	
	质量比	体积比	质量比	体积比	质量比	体积比
云杉	99	95	—	—	1	5
桦木	86	65	9	25	5	10

常用针叶木制浆材种的平均相对密度（单位湿材体积的绝干质量）范围从美国西部侧柏的 0.31 到美国落叶松（Western larch）的 0.55。密度上的差别跟西洋杉（cedar）的晚材组织较少而落叶松的晚材组织较多有关。硬木的相对密度范围从三角叶杨（cotton wood）的 0.30 到岩榆木（rock elm）、胡桃木（hickory）和白栎木（它们均含厚壁纤维）的 0.60 以上。

各软木和硬木类内部，在木材密度和许多纸浆性能之间存在着相互关系。例如，单位木材体积的纸浆得率一般与密度成正比。高密度木材通常显示其纸浆有较慢的打浆响应、较低的抗张强度、耐破度的耐折强度、较大的松厚度、和较高的撕裂强度。如表 2-3 所示，硬木倾向于比软木有更高的密度，南方松类的木材密度大于其他地区生长的软木。

硬木跟软木相比，通常含有更多的综纤维素和更少的木素，而抽提物含量则较高。其平均组成和常规含量值的范围示于图 2-18。

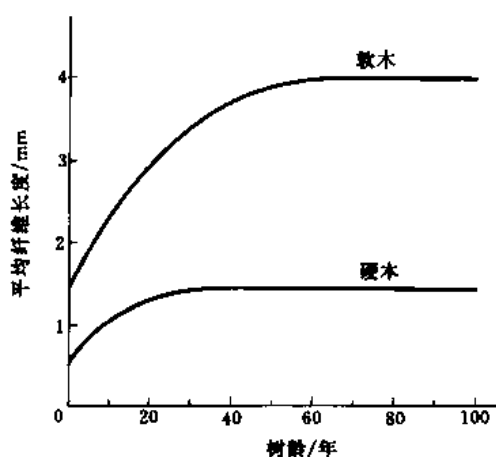


图 2-17 典型软硬木的生长年龄
对平均纤维长度的影响

表 2-3 北美制浆木材的性能*

材种	纤维长度/mm	纤维直径/ μm	木材密度/(lb/ft ³)
南方地区			
长叶松	1.9	35~45	41
短叶松	4.6	35~45	36
火炬松	3.6	35~45	36
湿地松	4.6	35~45	43
东北地区			
黑云杉	3.5	25~30	30
白云杉	3.3	25~30	26
斑克松 (Jack Pine)	3.5	28~40	30
香脂冷松	3.5	30~40	25
西北地区			
花旗松	3.9	35~45	34
西部铁杉	4.2	30~40	29
红木 (Red Cedar)	6.1	50~65	25
西部侧柏	3.5	30~40	23
硬木类			
杨木	1.04	10~27	27
桦木	1.85	20~36	38
桦木	1.2	16~22	45
栎木	1.1	11~22	46
赤桉	1.7	20~40	34

* “美国和加拿大的制浆木材”第二版, 1951年威斯康星州 Appleton 市造纸化学学院, 作者 Isenberg, I. H. (1lb ft³ = 16.0185kg/m³)

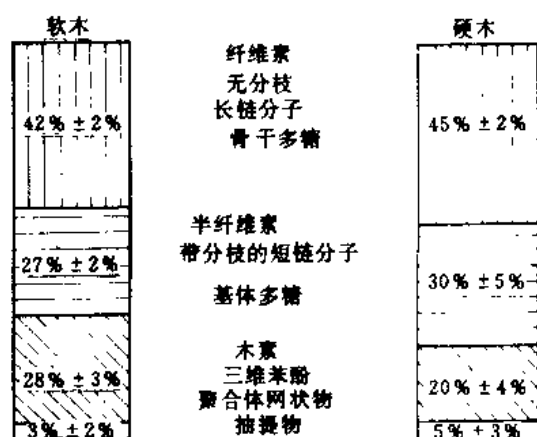


图 2-18 软木和硬木的平均组成

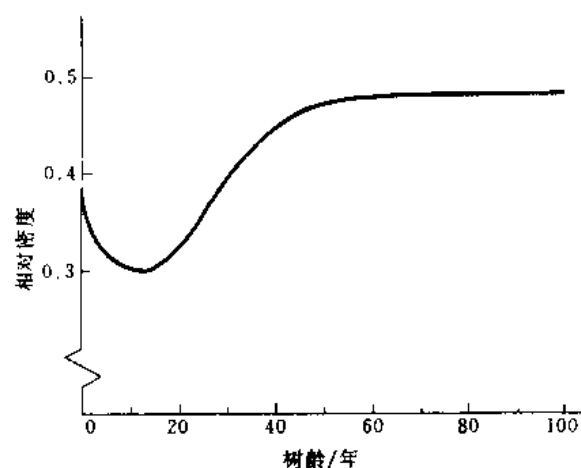


图 2-19 具有早晚材急剧过渡特征的软木，其相对密度随树龄而变化的情况

软木材种之间的差异

花旗松和落叶松可含 10%~50% 晚材，南方松中的百分含量甚至要更宽些。这些针叶木具有早晚材急剧过渡的特征，相对密度从树木髓心开始随树龄而变化的一般模式，示于图 2-19。这类树种从而包含有一个跟很多成熟材性能截然不同的低密度幼材核心。对诸如铁杉、云杉和香脂杉等木材，其树心界限不是很明显，生长率就成为跟密度变化关系最密切的变数。

密度在某种程度上是一个遗传特征。将相对密度作为树木育种计划中的一个内容,有可能获得较高的得率(以及从一定体积的木材获得更多纸浆)。

软木生长的特点是在歪斜树干以及树枝的下侧生成受压木(见图2-20)。实际上每棵树都会有若干这类结构,但各棵树之间,在数量和严重性方面有很大不同。受压木(compression wood)的特征是高密度的、完整的厚壁管胞、大的纤维角、高度木质化的次生壁、较短的纤维长度以及细胞中的螺旋形裂缝。所有这些属性都对制浆及质量有影响。受压木纤维对打浆或磨浆的响应一般不是很好。但剧烈的机械处理,使较厚的次生壁层分散成很长的纤维。



图2-20 树干横断面的受压木形状

树枝因为幼材和受压木的比例较大,所以其纸浆得率和质量较差。

硬木材内部的差异

硬木的相对密度的波动从平均值的9%或10%(槭木和桦木)到23%(榆木和槐木)。环孔木的波动范围一般比散孔木更大,视生长率而定。生长缓慢的环孔木通常有较大体积的早材导管,因而相对密度较低。

硬木的特点是在歪斜树干以及树枝的上侧生成受拉木(tension wood)。低密度受拉木的特征是导管相对较少以及纤维具有高结晶纤维素组成的清晰的内胶层。虽然受拉木的化学制浆得率较高,纤维却不易打浆,且纤维间结合力较低。受拉木在每棵硬木树中多少皆有,但其数量和严重性则跟特定树木的生长习性有关。

树皮

树皮是木质树干和树枝的外覆盖物或外皮。它的性质各异,且可从树木中分离开来。其结构复杂(指与木材比较),因树皮含三类细胞组织(表皮、周皮和韧皮),其中每一类都有好几种细胞。虽然树皮通常被当作制浆生产中的废弃物,但有些树种(如西方侧柏和杨木)的树皮中含有相当数量的纤维,可在碱法制浆系统中加以利用。

但某些树皮组成,主要是栓皮细胞、致密的厚壁细胞或“石细胞”(见图2-21)以及充满抽提物质的细胞,对常规制浆条件有抗拒作用。其抽提物质消耗掉大量的化学品,而未成纸浆化的纤维物质则或为尘埃而留在成品浆中。

为了更有效地利用树木(例如全树削片),大量的树皮就会随着木片带入到浆厂中。浆厂要采取措施设法从木片中除去树皮,从纸浆中除去斑点粒。



图2-21 厚壁细胞纤维束
(MacMillan Bloedel 科研公司)

2.3 纤维结构形态对纸张性能的影响

纸张性能跟各类形成纸页的纤维结构特征有关。这些特征中最重要的两个无疑是纤维长度和细胞壁厚度。为了纤维间的结合强度，需要有一个最低限度的纤维长度，纤维长度实际上与撕裂强度成正比。若干软木与硬木细胞形状的比较，示于图 2-22。

通常，细胞壁较薄的软木管胞在纸页成形时，容易被压扁成带状（如图 2-23 所示的西部

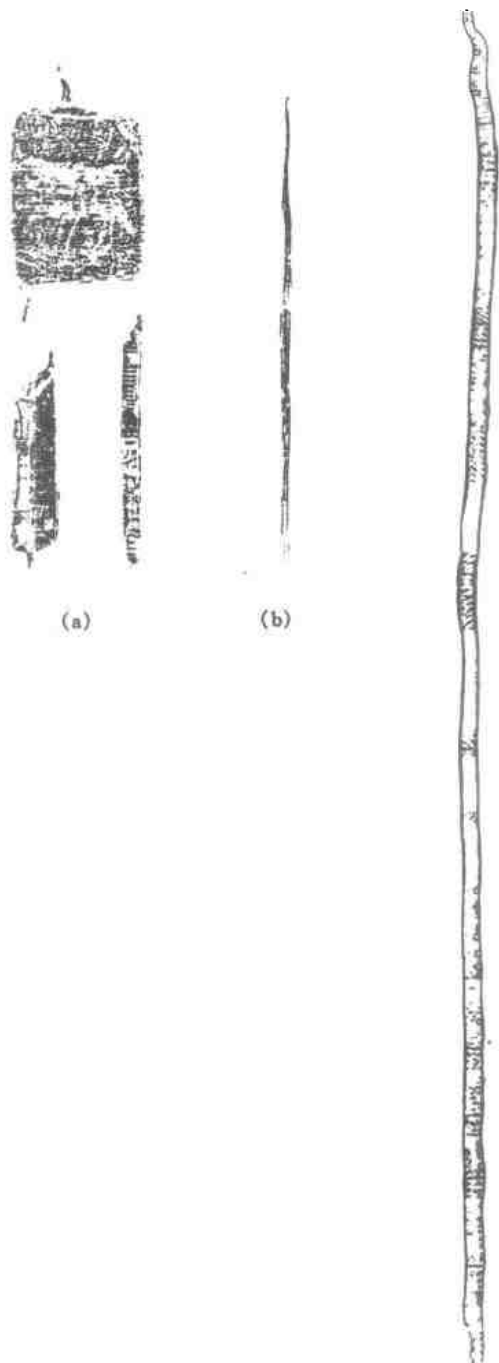


图 2-22 若干硬木和软木细胞形状影印图
针叶木管胞 (c) 比硬木的木纤维 (b) 与
导管分子 (a) 要长得多

侧柏)。细胞壁较厚的管胞不易压扁，对纤维之间的结合强度贡献不大。厚壁纤维（如图 2-24 的花旗松）则生产出具有低耐破度、抗张强度与抗撕裂度的疏松、易吸水的松厚纸页。对一定材种，早材薄型管胞相对较柔韧，而在细胞壁中占高达 60%~90% 体积的晚材管胞则不是如此。

为了有助于阐明基本原理，图 2-25 示出了两类理想的纤维结构。图的上方 A，厚壁纤维看起来像个中空圆柱体，下面的 B，薄壁纤维则现出带状结构。在该两种结构中，纤维和接触点的数量是相同的，但薄壁纤维形成的纸页，其接触面积和潜在的结合部分明显地要大得多。

纸浆纤维长度与细胞壁厚度之比 (L/T)



图 2-23 西部侧柏有很薄的带状纤维
平均纤维长度为 3.2mm
(Weyerhaeuser 公司制浆分部)

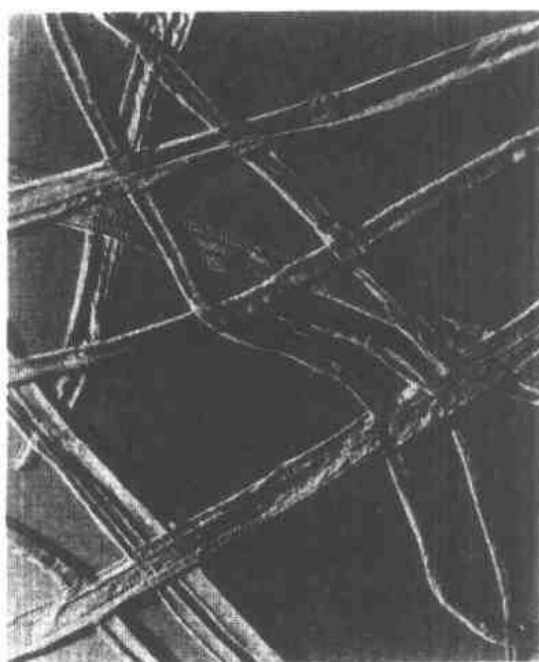


图 2-24 花旗松纤维有较厚的细胞壁，
不像其他软木那样容易被压扁，
“螺旋形增厚”是其标志特征

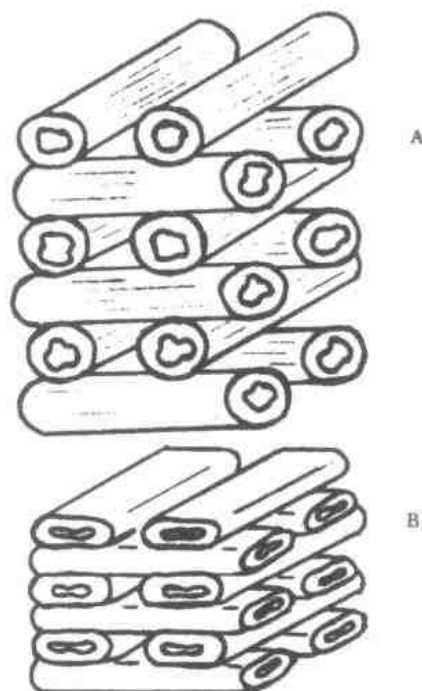


图 2-25 理想的纤维结构
厚壁纤维 A 跟薄壁纤维 B 不大一样

有时用作纤维相对柔软度的一个指标。但纤维特性的更为专用的指标是其粗度 (Coarseness) 值。纤维的粗度是指单位纤维长度的纤维壁部物质质量，通常以每 100m 长的毫克数表示 (mg/100m 单位表示)。

表 2-4 给出了若干代表性纸浆纤维的典型测量值。

表 2-4 北美制浆木材的性能

材种	纤维长度/mm	纤维直径/ μm	纤维壁厚/ μm	L/T 比	粗度/(mg/100m)
桦 木	1.8	20~36	3~4	500	5~8
赤 桉	1.7	20~40	5~7	300	8~10
黑云杉	3.5	25~30	3~4 (70%) 6~7 (30%)	700	14~19
侧 柏	3.5	30~40	2~3	1400	15~17
南方松	4.6	35~45	2~5 (50%) 8~11 (50%)	700	20~30
花旗松	3.9	35~45	2~4 (60%) 7~9 (40%)	700	25~32
红 木	6.1	50~65	3~4	1700	25~35

在软木次生壁的三层中 (参看图 2-6)，微细纤维的角度是不同的，在结合良好的纸页中且与若干纸张强度参数有关。影响最大的是纸页的伸长度。

对硬木纸浆而言，纤维测量值与纸页性能之间的相互关系，表现不明显，因为其导管分子和其他细胞组成的比例都各不一样。参见图 2-26 和图 2-27 所示的硬木浆纤维。

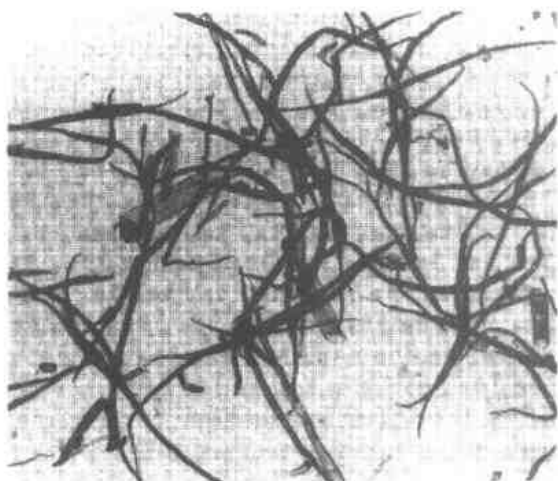


图 2-26 杨木和桉木纤维的混合物

图 2-27 红桧木制得的木纤维和导管分子的混合物
(Weyerhaeuser 公司制浆部)

2.4 木材品种的鉴别

与制浆造纸厂的生产相联系, 往往对精确地鉴别和分析 (定量) 一个未知纸浆纤维或木片试样的原材种组成很感兴趣。进行这种测定工作的方法主要是对试样作显微观察。准备试样的方法登载在 TAPPI 标准程序⁽¹⁾中, 总分析方法见 Strelis 与 Kennedy 所著的书⁽²⁾。

木材试样比较容易鉴别, 因为在显微镜下可清楚地观察到大量的特征。Strelis 与 Kennedy 归纳了软木的 22 种特性和硬木的 24 种特性。试样必须精心准备, 并切成三个平面: 即横向、径向和切向 (参看图 2-1)。

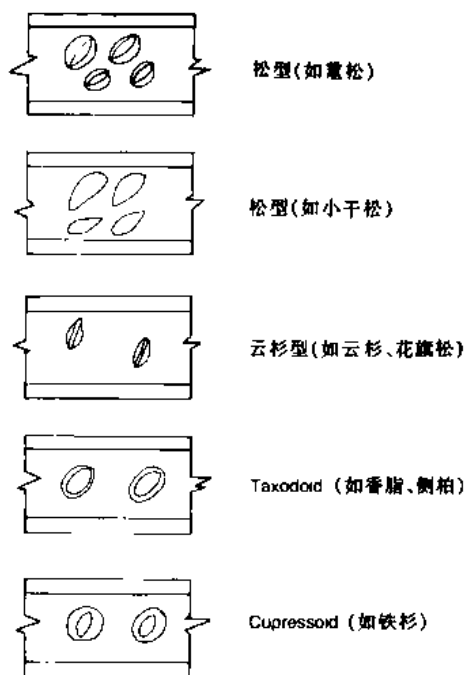


图 2-28 射线横切纹孔

对于纸浆纤维而言, 在木材试样中所看到的细胞结构特征都不见了。但通过一个排他性的逻辑程序, 并最终已知纤维的试样和 (或) 显微照相与未知纤维相比较, 是可能得出一个可信鉴别的, 这个方法简单明了, 特别在只有有限数量可选择时是有可能的。纸浆纤维的主要的鉴别特征是软木管胞和硬木导管中纹孔特有的形状和方向。见图 2-28 软木射线横切纹孔型的例子。

参 考 文 献

- (1) TAPPI **Standards** T263, T401
- (2) STRELIS, L. and KENNEDY, R. W. **Identification of North American Commercial pulpwoods and Pulp Fibers** University of Toronto Press (1967)

第3章 木材和木片处理

3.1 木材来源

在全世界范围，有 35% 的森林贮量是长纤维针叶树（软木），65% 是短纤维阔叶树（硬木）。表 3-1 示出各国各地区 3230 亿 m³ 森林资源的所在地。值得注意的是前苏联地区拥有世界一半以上的针叶树资源，约为北美蓄积量的 2.5 倍。大量的硬木资源主要是在热带区域，特别是非洲和拉丁美洲。

表 3-1 不同地区 and 国家的林木量（1977 年联合国粮农组织）

材种	国家和地区	%林木量 (growing stock)
针叶树	日本	0.3
	欧洲	3.0
	北美	8.4
	前苏联	20.7
	其他	2.6
	总计	35.0
阔叶木	日本	0.3
	欧洲	1.7
	北美	2.9
	苏联	3.7
	其他	3.1
	温带区总计	11.8
	亚洲、远东	8.4
	非洲	18.6
	拉丁美洲	26.3
	热带区总计	53.3

表 3-2 造纸材供应量（1977 年联合国粮农组织） 单位：百万 m³

国家和地区	1973—1975 (平均)	1990 (估计)
北美	257	410
西欧	125	194
日本	22	47
大洋洲	8	17
拉丁美洲	11	45
近东、北非	2	5
非洲（撒哈拉以南）	5	13
远东	6	30
中央计划经济国家	76	163
全世界总计	511	921

目前的和预计的造纸材供应格局（据1977年估计）示于表3-2。1977年北美供应量占全世界的一半左右，至1990年供应量百分数估计仅下降5%，而绝对数则有急剧增加。制浆造纸材供应量增加最多的预计为前苏联的针叶木和拉丁美洲及远东的硬木。

硬木制浆的大量利用显然自1950年开始。1950—1972年在美国阔叶树制浆的比例从14%上升到29%，在北欧国家从3%上升到16%，总的趋势是持续增加。在发达国家硬木利用的增加得益于薪炭材消耗量的相应减少。

在造纸材供应方面的另一显著趋势是工业木材剩余物利用的增加。目前北美造纸材中约27%是以残余物木片的形式供应的。随着联合生产的进展加速了这个趋势。

加拿大有约占全世界13%的针叶树资源，而其采伐量占11%。针叶树供应量只占11%的美国，由于更贴近林区，更加工业化，更接近市场，以及有生长周期更短的南方林区，采伐量有可能达到22%。北美主要的森林地区示于图3-1。

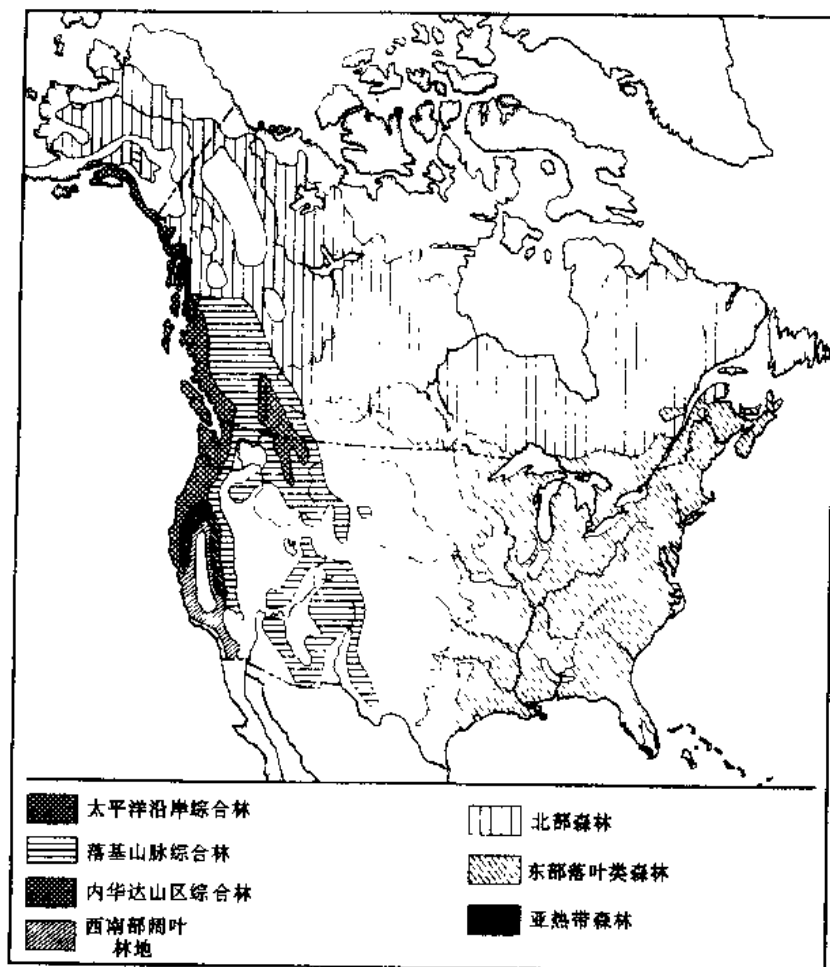


图3-1 北美原始林地的主要组成 (J. W. Barrett)

3.2 木材采运技术

将木材原料供应至制浆厂，通常是林区人员或专职采购人员的职责，浆厂员工是不管的。虽然如此，浆厂专家必须知道木材的采伐运输和（或）木片的采购安排，以便估计所存在的问题以及在维持造纸材的固定供应和质量上的条件制约。

美国和加拿大在资源管理和开发上有着基本的不同点。在美国约 72% 的林区是私人拥有和管理的。公司操作的大约只占到厂原木或木片的 14%。大量的原料需求直接由原木生产者和制材厂生产商（或由中间商）提供。

相反，在加拿大总林地面积的 95% 是属于政府所有的，并像“皇室土地”那样管理。绝大多数的木材采伐工作是在政府许可下，由林产品公司进行的。实际上由于多数森林资源都远离工厂，覆盖面大，从未开采过，大规模的运作构成了唯一可行的采伐方法。

有一定数量的林产品公司，在造纸材供应方面可做到自给自足。但大多数浆厂却必须从当地供应商那里购买原木和（或）木片，以补充它们公司内部的造纸材来源。有些公司实际上没有它自己的林业资源，必须从外面购买全部所需的造纸材。少数几个浆厂没有原木装卸设施，而完全依赖于输送和购买木片。

木材采伐和运送的方法因地区而异。例如，在西部或北部，纸厂靠近沿海或主要河流，木材可借河流运送到纸厂所在地。在许多地区，特别是运送距离很远时，主要靠铁道运输（图 3-2）。总体上说，汽车运送的木材量最大（图 3-3）。

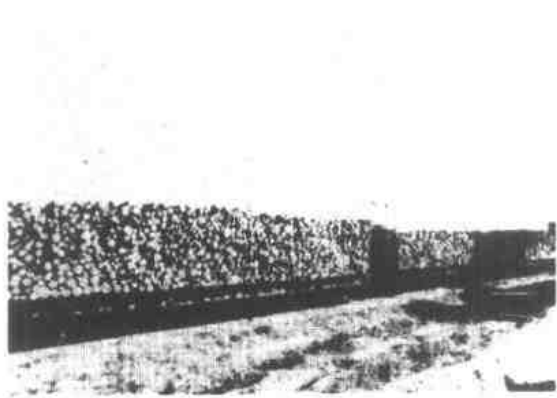


图 3-2 用火车运送短木材



图 3-3 新型全树运送卡车（Finning 摄影）

伐木使用的三个主要方法是：

（1）短木系统，包括砍伐、去树枝、锯成规定长度、堆垛、和将木材运送到路边。这种方法传统上是劳动密集型的，但现在有若干实现机械化的作业点，只需一个人就够了。

（2）全树系统（full-tree system），这是最基本的方法。树木被砍伐、去梢和堆垛；然后拖曳到路边以进一步加工和（或）运送到浆厂。现在流行的做法是在木材送到浆厂以前，用一个手提链式清除器去掉树枝和剥去树皮。

（3）全树长系统（tree-length system）采用先进的组合机械（伐木康拜因）砍伐、去枝、使树木脱离树桩、并整齐地堆放在一起，以便另一台机械将其拉至路边（参看图 3-4 至图 3-7）。

目前较大量的是使用全树长原木，而且趋势是不断加强机械化。但仍有相当量的木材用人工作业进行伐运。全面改变为机械化伐运，需要在机械研制和购买方面付出大量投资，才能在崎岖山地（图 3-8 至图 3-11）和（或）极端气温下有效地作业。实行机械化的激励因素是减少劳动力费用和更加不受季节性的约束。但送到纸厂的原木则处于相对较“脏”和未分类的状态。



图 3-4 在装车前将木段锯开和分类 (Finning 摄影)



图 3-5 这个老一代的树木采伐机借剪切作用切断木材，而新型设计则是利用锯木原理
注意：由于树墩高浪费了木材资源 (Finning 摄影)

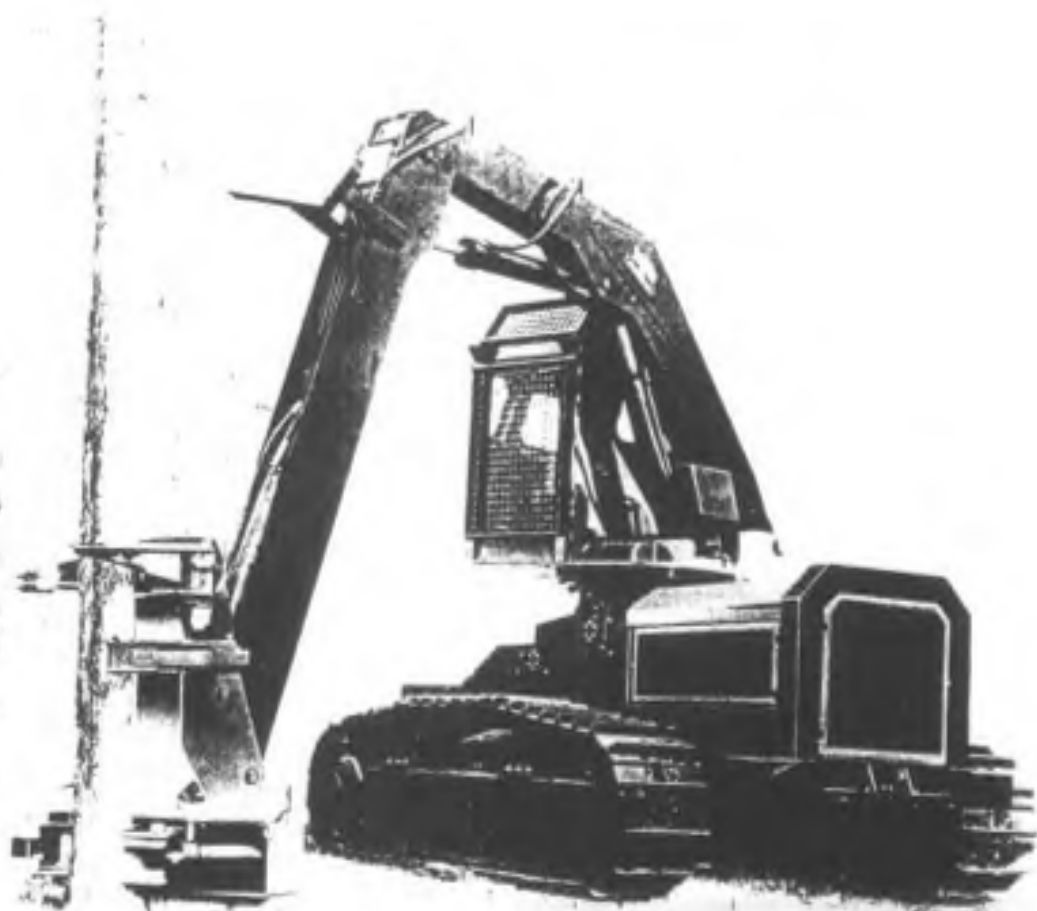


图 3-6 一台新型采伐机在操作中 (Timberjack)

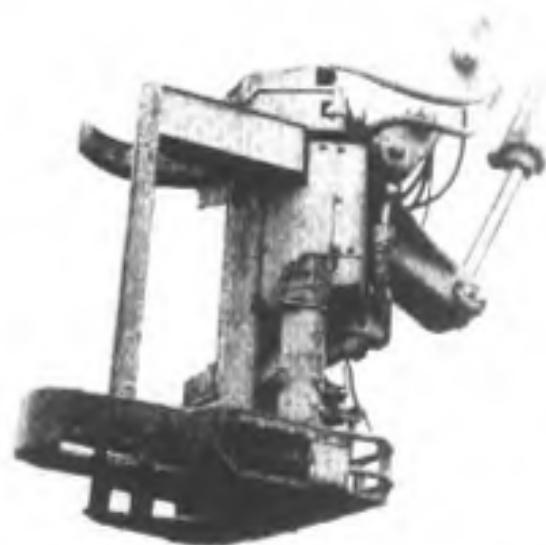


图 3-7 新型树木采伐机的详细结构(Finning 摄影)



图 3-8 在西北部清理林区道路(Finning 摄影)



图 3-9 在西北部堆木机处置一根大径侧柏木段(Finning 摄影)



图 3-10 拖拉机式堆木机在西北部的崎岖山地上拉动一根大径原木(Finning 摄影)



图 3-11 在西北部崎岖山地装载原木(Finning 摄影)



图 3-12 用“推土机式小船”在水中対原木分类

在采伐和木材加工之间，原木一般要根据材种、质量、最终用途或目的地进行分类挑选。分类作业可在水中（图 3-12 和图 3-13）或陆地上（图 3-14）进行。在有通航水道的地区，要尽量避免水中分选，以减少在水中产生碎屑，并尽量采用木捆，以减少原木吊车所占的位置及避免产生沉水木。在采用木捆作业的地方，分选必须在陆地上进行。图 3-15 示出西北部一个现代化陆上分选的简图。



图 3-13 利用水对原木分类



图 3-14 原木在陆地上分类 (Finning 摄影)

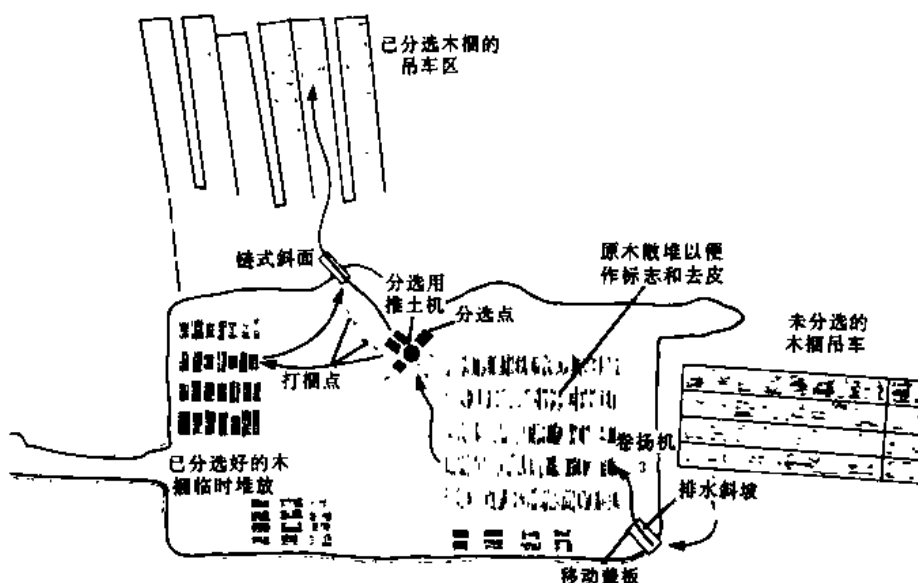


图 3-15 陆地分选简图

全树削片通常应用于灌木型硬木，这类硬木林勉强够得上有商业价值。用这种方法，整棵树（即包括树干、顶部树枝、叶等）在伐木现场被削成木片，并采用某种风选工艺，将削片机的产出物分离成制浆用木片和燃料用废弃物（图 3-16）。全树削片可充分利用那些无价值的资源，但必须承认存在着许多潜在问题须加以考虑（例如，较低的纸浆强度和得率、较多的尘埃点）。通常公司在刚开机时，“全树木片”的用量应少于 10%，在一段时间后逐渐增加用量。

综合性作业

如上所述，综合性林产品制造业可确保宝贵的木材资源获得最经济的利用。既然低质量

的造纸材和木材废料都可有效地用作制浆原料,则用优质木材去制浆,一般就认为是不经济和不合理的。此外,如果造纸材在削片以前,能先锯出板材,将更增加其附加值。多品种综合生产厂的有效发展,要求原木砍伐、运送、分选和切碎能与随后的深加工作业结合在一起。

很明显,如果木材加工与相关工厂组合在一个单元中,将会获得最佳经济效益。虽然如此,即使后加工的工厂不在同一地点,也可实现类似的综合性效益。图 3-17 示出一个大型木材综合企业的流程。除了最佳使用木材外管理机构和服务部门(例如蒸汽、电、污水处理等)的协作配合可进一步提供经济合理性。

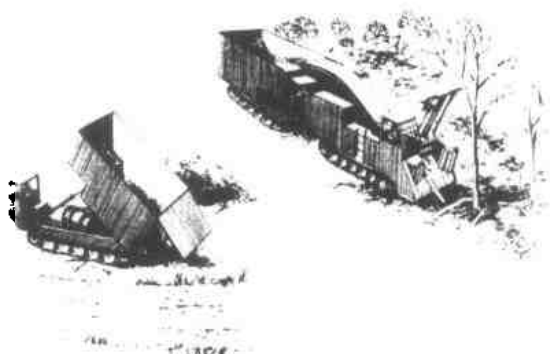


图 3-16 移动式削片机和木片运输车回收小径材并切成木片,将其堆放于路边贮场

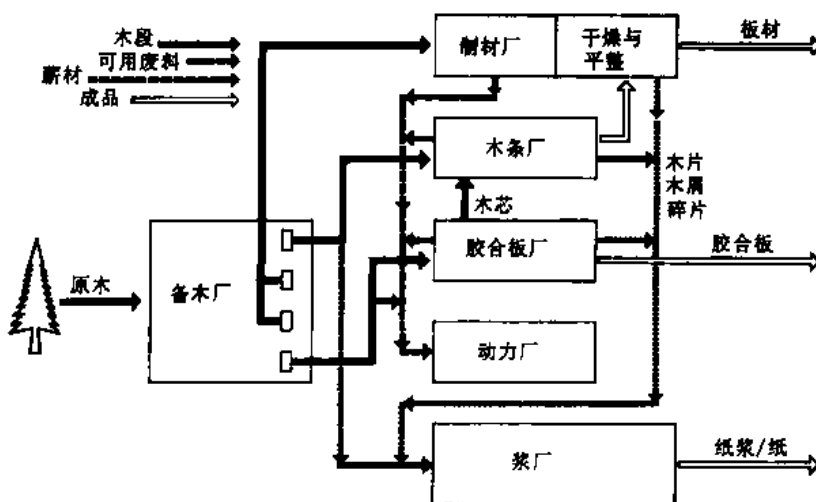


图 3-17 综合木材厂流程

3.3 造纸材的计量

除了质量因素(它往往被忽略)外,调运造纸材的经济基准是其干材质量。由于不可能直接测量木材的干重,已创造出了好几种根据分别测量木材体积或湿重,再乘以干材密度或干材含量(或水分含量)的估算方法。遗憾的是原木水分含量因木材品种、年龄、产地和运送与贮存的方法而变化很大。要注意,水份含量在 33%与 50%之间波动,相当于每 kg 干材的含水量从 0.5 增加至 1kg。另外,即使是同一品种,干材密度的变化也很大。

以前流行的做法是,只测量一堆原木所占有毛体积。通常的计量单位是 cord,含意是一堆 $8\text{ft} \times 4\text{ft} \times 4\text{ft}$ 的木材量总体积,等于 128ft^3 。“Cord”对测量真正的木材体积是不甚可靠的,因为该体积内所包含空隙,随原木直径和堆积方法的不同而变化很大。树皮厚度的不同也很重要。

今天,更普遍应用的实际测量法为诸如造纸材的 Cunit (100ft^3 实积木材)。通常是在测定一堆原木的木段数量和径级以后,利用标准图表,通过换算估计出它的实积。有些厂利用水置换法直接测量木材实积。

也许造纸材计量的最普遍的方法是测湿材重。当造纸材用汽车运来时,在卸车前和卸车

后称一下质量, 计算出质量差, 这样做是很容易的。这个方法可同时用于原木和木片; 在这种情况下均需要准确地估计木材水分含量以便计算出干材质量。

木片运输和销售也可以松散体积为单位, 通用的测量单位是“Unit”(200ft³)。对绝大多数材种, 一个 Unit 木片非常接近一个短吨绝干木材。

不同的木材体积计量单位的近似换算值如下:

$$1\text{cord}^* = 0.83 \text{ cunit} = 1.04 \text{ unit}$$

$$1\text{cunit} = 1.25 \text{ unit} = 1.2 \text{ cord}$$

$$1\text{unit} = 0.96 \text{ cord} = 0.8 \text{ cunit}$$

3.4 备木 (调木)

备木包括一系列工序, 它将原木转变成一种适用于随后制浆工序的形式。最终产品通常是木片。但如果是磨木制浆法, 则必须将一定规格的原木锯成短木头。有些综合性的备木车间, 还在削片前, 先将质量较好的原木锯出板材。

原木用装载机或桥式吊车 (图 3-18 和图 3-19) 从汽车或火车上卸下来。水运材一般都用桥吊。除全树长的原木外, 可设计用抓钩抓短木段或长木段。可在陆地上或水作中间贮存和最终原木分类。



图 3-18 在贮木场卸下长原木 (Finning 摄影)

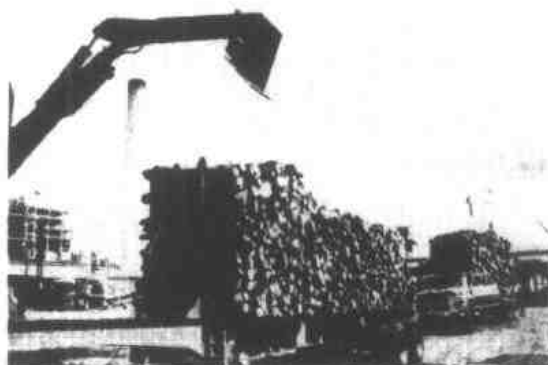


图 3-19 在贮木场卸下短原木

传统的备料流程如图 3-20 所示, 该工艺过程包括将原木输送至排锯台, 在那里将原木分类并锯成合适的长度, 接着是剥皮、削片、木片筛选和送去贮存。木片通常是贮存在室外的。

装木台 (Loading deck) 是备木工段的第一个工序。在这里的停留时间取决于贮木场的贮存量和装木的频率。从装木台出来的原木排成一行, 然后可在它们剥皮以前实行分类和 (或) 进入排锯工序 (见图 3-21)。在处理长原木 (特别是全树长度) 时, 在装木台后面必须有一组排锯机。

有些工厂在原木处理的流程中还有解冻和 (或) 洗涤工序。原木从装木台上到解冻台, 在解冻台上它们自动地堆积成 1 米多高。然后它们缓慢地输送通过解冻室, 并以热水 (冬季) 和 / 或冷水 (夏季) 喷淋。该工序对随后的干法鼓式剥皮有利, 还可除去原木带来的砂石、泥土和碎片, 从而减轻剥皮机、排锯机和运输系统的磨损。

* 1cord=2.4m³—译者注。

剥皮

原木必须剥皮以保证备木间的木片没有树皮和尘土。除水力剥皮机外还有好几种型式的机械剥皮机。

圆筒剥皮机或剥皮鼓(图 3-22 和图 3-23)是最常用的一种机械剥皮机,它具有各种设计型式。可用湿法或干法操作的短木剥皮鼓和长木平行式剥皮鼓。在所有设计中,都是借转鼓作用所产生的磨擦力,使木段彼此磨擦而将树皮从原木脱除的。鼓壳内铁制或橡胶制的升降器(lifters)搅动木段并保护鼓壳免被磨损。在湿法圆筒剥皮机中,将水加到剥皮鼓前而的钢板部分,以协助松动树皮,鼓的其余部分开有缝口,以便使剥去的树皮,在木段持续前进过程中掉落下来。在干法圆筒剥皮机中,鼓的全长都开有排出树皮的缝口。干法圆筒剥皮机的长度比湿法圆筒剥皮机要长,而且转速更快;干法圆筒剥皮机的优点是脱除的树皮可直接送入树皮锅炉中燃烧。从湿法系统中出来的树皮必须收集在一个水槽中,在燃烧以前进行脱水和压缩;其最终废水处理比较困难且费用较大。

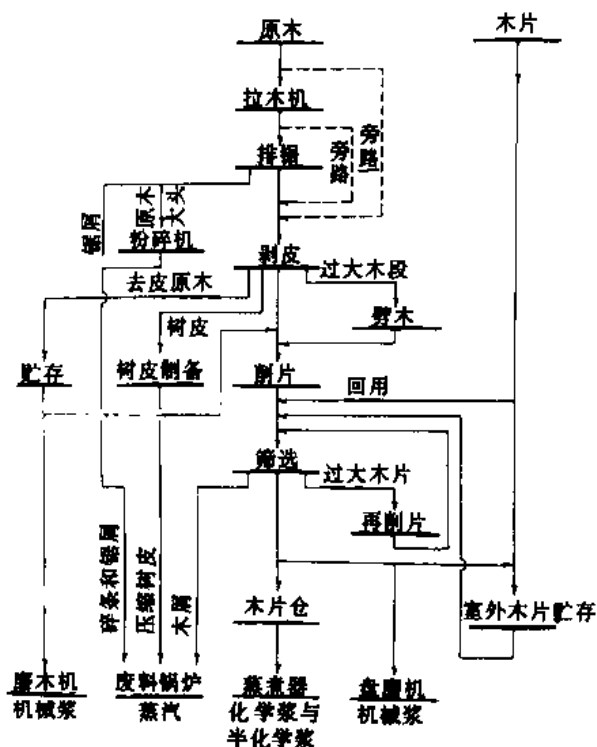


图 3-20 备木间的流程图

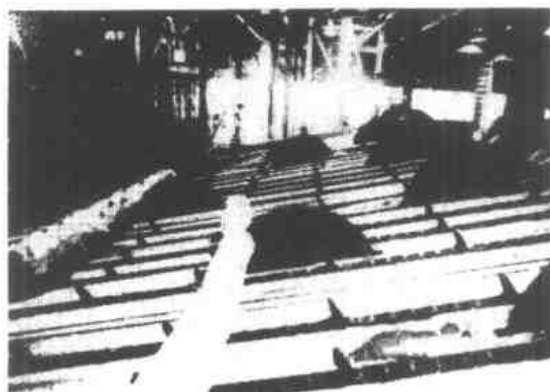


图 3-21 原木在排锯平台上被锯成规定长度

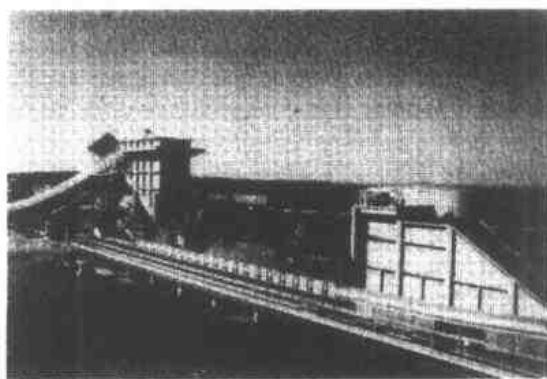


图 3-22 这台 4.4m (14.5ft) 直径 × 24.4m (80ft) 长的剥皮鼓可处理直到 9.1m (30ft) 长的木段 (纤维设备制造公司)

圆筒剥皮机一般产生 4%~5% 左右的废木渣,还在木段端部形成“帚化”现象,这对木片质量是有负面影响的。虽然有这些明显的问题和制约,但由于圆筒剥皮机的价格较低和适应性较强,是绝大多数备木间和贮木场的首选设备。

圆环式剥皮机或旋刀撕裂式剥皮机 (Cambium shear barker) (图 3-24) 主要是利用一个旋转圆环,在圆环上装有好几个带有刮铲刀片的支臂,当木段通过圆环时,对它施加径向和切向的压力。这种剥皮机是利用树皮和木材形成层之间的结合强度较弱的特点。喂料和转子

的速度可以变动,以适应木段直径和树皮粘牢度的大范围变化。这种装置不适用于弯曲材和冻材。

Rosser 刀辊式剥皮机 (Rosser head barker) (图 3-25) 利用一个快速旋转的附有多切削刀的刀辊,刀辊上的切削刀切削和刮铲掉原木上的树皮。原木在剥皮时自身旋转并纵向移动通过 Rosser 刀辊。该设备对冻材以及树皮结合较紧的材种比较有效。但木材损失率很高。

水力喷射式剥皮机 (Hydraulic jet barker) (图 3-26) 在使用大直径原木的西北太平洋区域很通行。它们直接以高压水 (超过 6.9MPa) 射向原木以脱除树皮。剥皮效果好,且损失率一般低于 2%,但投资和动力消耗较高。因为水力剥皮机出来的废水很难处理,许多工厂已转而采取机械剥皮。

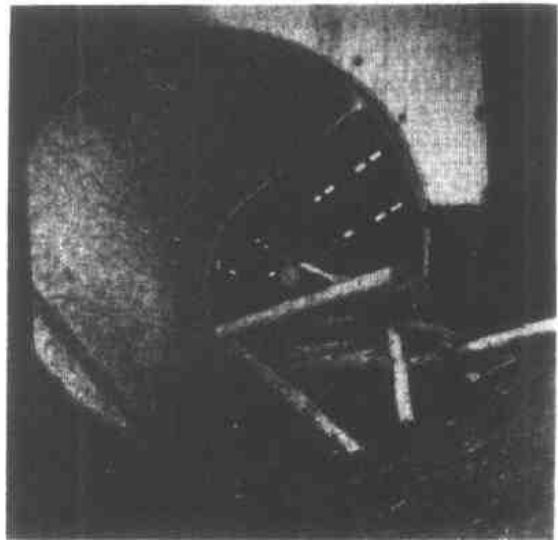


图 3-23 在出口端的可调节闸门保证在剥皮鼓内维持适量的木段 (纤维设备制造公司)

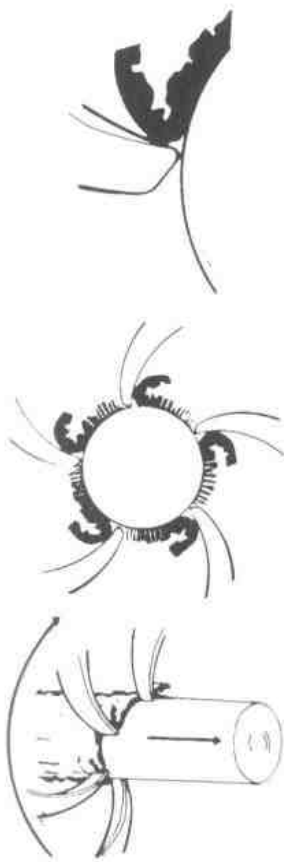


图 3-24 圆环式剥皮机剥皮刀操作简图 (Koch)

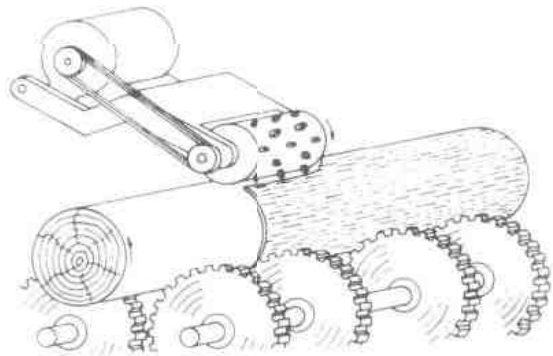


图 3-25 Rosser 刀辊式剥皮机结构 (J. R. Erickson)

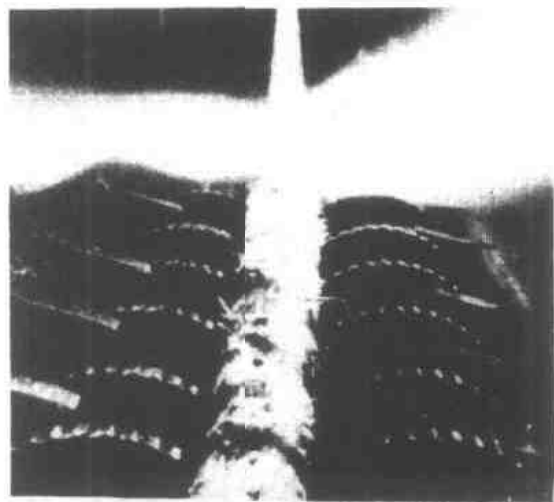


图 3-26 水力式剥皮机

削片

在剥皮后（也可能在锯取板材后），原木（或板皮）被削成木片以适应于随后的制浆工序。削片机有几种结构，最常用的是装有刀片的飞轮式刀盘，刀片沿盘面辐射状安装，并突出 20mm 左右（见图 3-27）。原木一般通过溜槽喂入转盘的一侧，以使刀片与原木轴线成 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 角进行切削。原木也可水平地喂入到以适当角度安装的刀盘。通常，水平喂料较易于控制，但不大适合于细小的木段。

对一台设计结构良好的削片机，合理的速度控制和保持削片刀的锐利，是获得满意结果的保证。理想的木片通常认为是木纹方向的长度约 20mm，厚度 4~5mm。但所有 10~30mm 长和 3~6mm 厚的木片都是适合于制浆的。过大片对制浆过程和最终纸浆质量有负面影响。

木片筛选

必须使木片通过一组木片筛才能筛去木屑和过大片，获得合格木片。过大木片掉落到输送带上输送到某种形式的再碎机，破碎成较小的规格。除非另有特殊的制浆系统，木屑通常都与树皮一起烧掉。

老式木片筛仅根据木片长度来筛分木片（见图 3-28、图 3-29）。近几年来，木片厚度已经被认为是一个重要的制浆参数，根据厚度来筛分木片的新式盘型或辊型木片筛，目前已广泛作为标准化设备被接受（图 3-30）。再者，新型的着重在减少木片厚度的再碎机（Chip slicer）（图 3-31）对木材纤维的损伤也远远少于老式的基本是锤式粉碎的“再碎机（rechipper）”。

树皮的处置

几年前，那时矿物燃料（指石油）很便宜，从原木剥下来的许多树皮被当作是一种公害或处理难题。妥善的处置方法包括焚烧（带和不带蒸汽发生装置）、填地和作混合肥料。少量的被用作园艺覆盖物和建筑纸板的填充料。

由于矿物燃料的日趋昂贵，树皮和其他木材废料现在被当作有价值的燃料来源。为

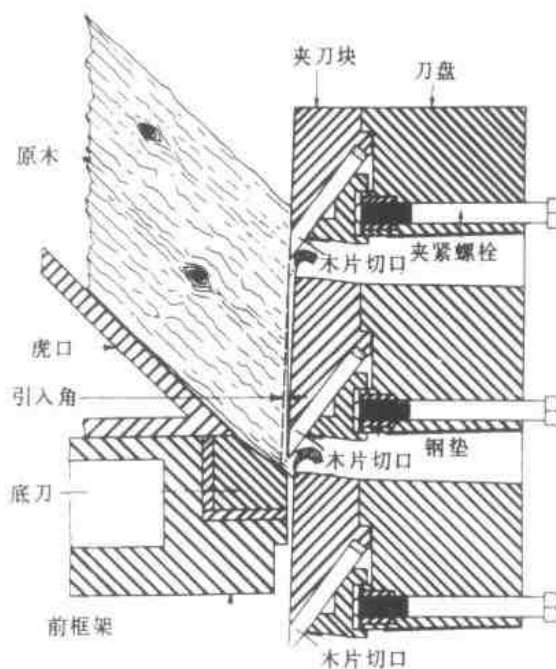


图 3-27 削片机剖视图（Carthage 机械公司）

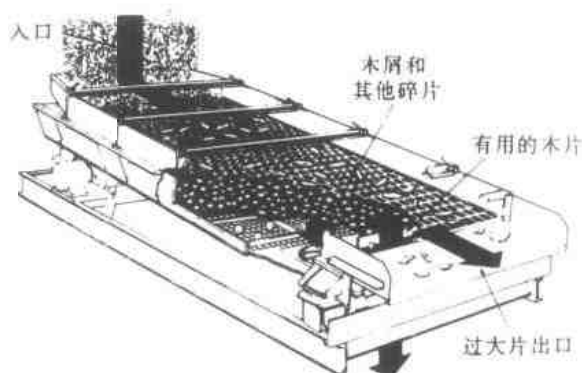


图 3-28 利用旋转摇摆作用的木片筛
（Orville Simpson 公司）



图 3-29 四段木片筛

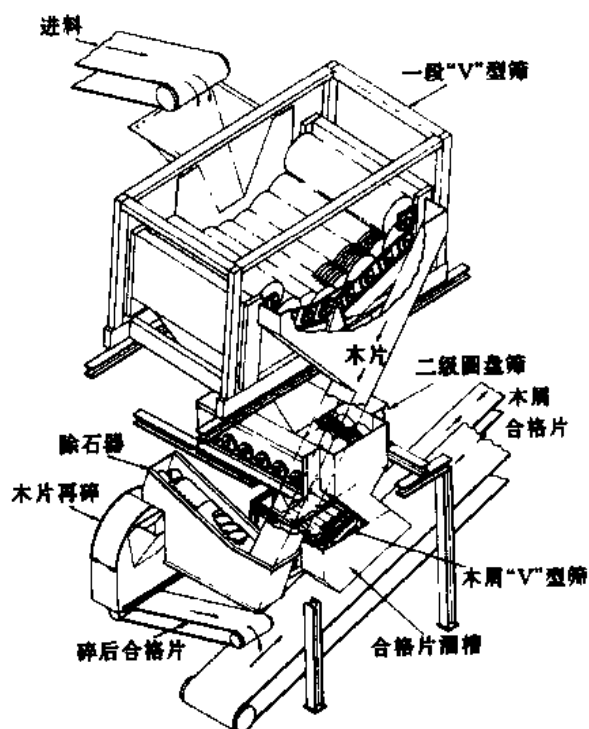


图 3-30 木片厚度筛选与再碎系统 (Rader)

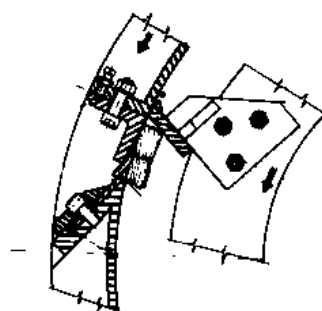


图 3-31 显示木片再碎机将过大木片顺纹理裂开口的操作过程 (Rader)

满足工厂的能源需要,非常重视对树皮的有效利用。树皮燃烧锅炉的热效率与树皮水分含量直接有关。因此干式剥皮法有其突出的优点,湿式剥皮法则需将树皮机械压榨以除去多余的水分。改进燃料热值的努力主要集中在寻找提高湿压榨效率和经济地利用废热源干燥树皮的方法(参看 25.3)

3.5 木片的输送和贮存

在工厂区内,木片通常是用管道风送或输送带输送。在 300~400m 距离内,木片很容易用风送系统输送,但动力消耗较高,且显著损伤木片。而带式输送系统则一次性投资较大。其他一些系统如链式或螺旋式输送机也用于运送木片,但通常都是短距离输送。

从独立的制材厂和其他非综合性林产品工厂来的商品木片,通常用汽车或火车运输到浆厂。沿海和沿江地区也用驳船运输。将木片装入运输工具的最有效方法是风送,因为风送压得比较紧,木片空隙小,虽然这是以牺牲木片的一定损伤程度为代价的。浆厂定期接收发运来的木片,一般是配备特殊设施将汽车和火车内的木片卸到漏斗式料仓(图 3-32),还有将木片从料仓送到堆存处的有效系统。除用装载机外有些工厂还利用抽风系统与汽车拖车相结合卸下木片(图 3-33)。驳船卸货一般是用配有抓斗的吊车。

木片贮存

通常,浆厂的绝大多数纤维原料都是以

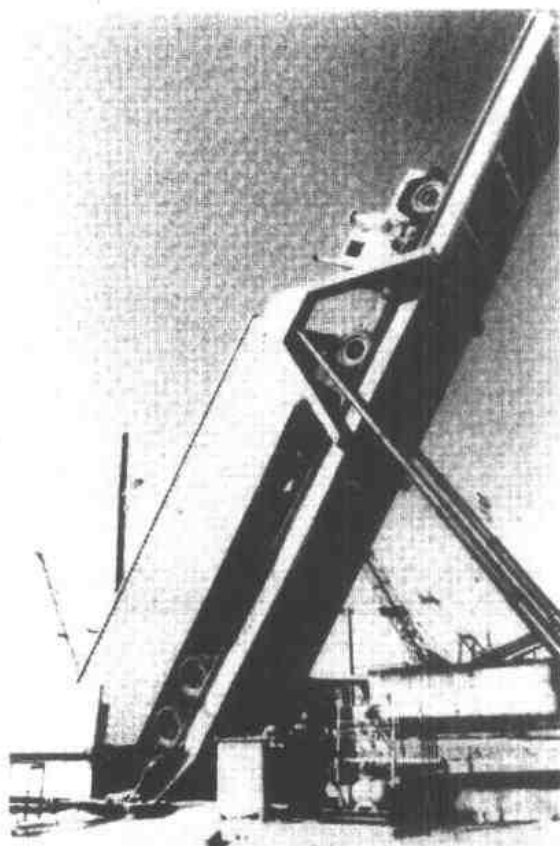


图 3-32 木片汽车卸料

木片形式贮存，因为它们运搬起来比原木更经济（如图 3-34）。自 20 世纪 50 年代以来出现了室外木片堆，因为它可以堆存很多木片而又不必用木片仓或木片槽。室外木片堆从一开始缺点就很明显，例如，从木片堆扬起木屑，和木片表面易受大气污染。在直到 20 世纪 60 年代后期才正式确认木材损失跟室外木片贮存有关。

现已肯定，室外木片贮存由于呼吸、化学反应和微生物活动的综合作用，每个月的常规木材物质损失率为 1%。考虑到全世界的总木片量，每年的纤维原料损失是十分可观的。已经进行了不少研究以便发现一个理想的预防性处理，但至今还没有找到一个完全有效的、经济的和不损害环境的方法。

与此同时，在室外木片贮存时的木材损失和降解，有可能通过有效的木片堆管理^[1]而减至最少（因为木片受损的原因很多，在具体贮存方法上的意见有时互相矛盾是不足怪的）。最好在堆木片以前用混凝土或涂沥青的地面矮墙围起来，以减少不洁物的污染，并隔断地面有机物的迁移。木片贮存应本着“先进先出”的原则，以避免新木片被旧木片混杂。诸如环形木片堆（图 3-35）的贮存模式有利于“新”“旧”木片的彻底分开。在这种布置中，两个敞开面形成了木片堆的起始和终了。木片在一个敞开面进入，而从另一个敞开面运走。另一种布置是新木片在木片堆顶部加入，旧木片从底部运走，效果也很好。应防止因吹风使木屑聚集起来，因为它们会妨碍因各种原因在木片堆中积聚热量的散发。局部的热量积聚甚至可引起自燃。

最佳的木片处理，部分取决于制浆工序的要求。例如在亚硫酸盐法制浆中，由于木材抽提物在纸浆中形成树脂障碍，是一个麻烦事。因为贮存的头两个月期间，从木片中失去抽提物特别迅速，所有亚硫酸盐制浆用的木片都应该进行贮存。但是，如果要最大限度地回收抽提物生成的副产品（例如塔罗油和松节油）显得非常重要时（如对有些硫酸盐浆厂），那么新木片就应该绕过贮存，直接使用以获取最大的副产品收得率。



图 3-33 用装载机从火车上卸木片
(Finning 摄影)



图 3-34 显示两个敞开型木片堆和
回用系统的贮木场部分前景显示
一个封闭的树皮仓 (Atlas 系统)

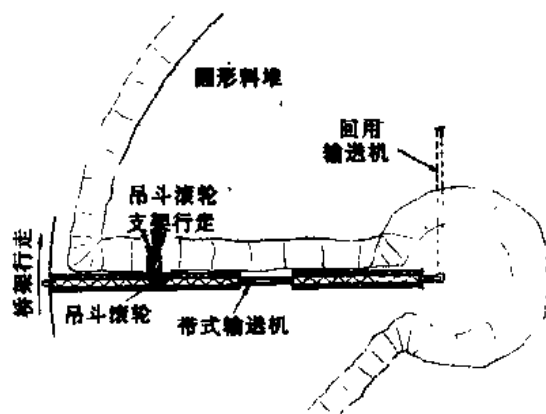


图 3-35 环形木片堆保证有序地
倾倒木片 (Radar)

木片收集

从木片堆收集(即运送到生产系统)木片有许多方法。以前的老系统是沿木片堆边使用一台皮带或链式输送机,而依借推土机上料,推土机将木片推到木片堆边。这种回用方式很费劳动力,通常必须有一个专职推土机手,并不可避免地使木片受到损伤。新型设备采取自动化作业,在木片堆底部的旋转平台上操纵若干台螺旋推进器或链式输送机(参看图 3-36 至图 3-38)。

木片贮存仓

木片通常不是直接从室外堆场送到浆厂生产工序的,而是首先送到中间木片仓或木片槽,以便计量和混合木片配比。这种形式的木片仓,最基本的要求是持续和准确地混合两种或三种不同的木片。

新型木片仓一般是立式圆筒形结构,其锥底部分联结圆形旋转台喂料器。因为木片的流动不畅是出了名的,绝大多数木片仓都配有某种形式的“活底”以避免搭桥。甚至设计得最好的系统也可能不时会有流动问题,特别是当木片在槽中已存放了几天时。



图 3-36 用一台斗式装载机将木片回用 (Finning 摄影)

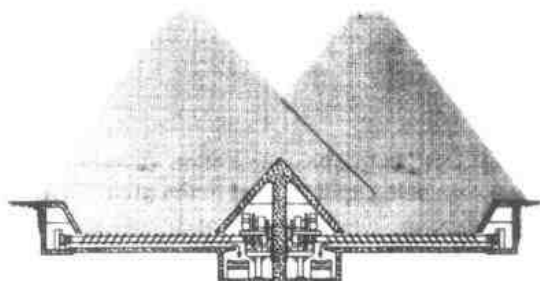


图 3-37 旋转式双螺旋木片回用系统提供一个固定的木片流量,甚至在低贮存量时 (Beloit-Wennberg)

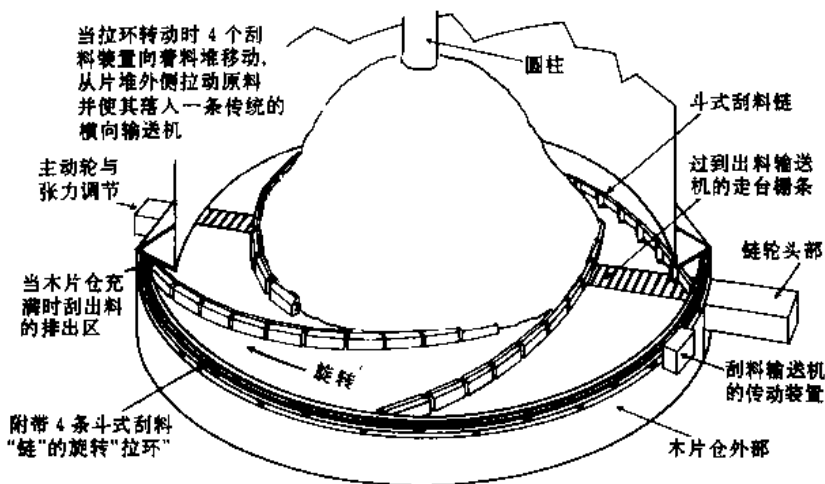


图 3-38 木片回用的旋转式刮料装置,不管木片料位如何,均能提供去蒸煮器的恒定送料量 (Atlas 系统)

3.6 木片质量控制

对于一定的木片来源,检测木片质量主要是以木片规格(长度和厚度)的均一性和“有害杂物”相对较少来表征的。所有 10~30mm 长和 3~6mm 厚的木片,一般认为质量是合格

的。有害杂物是指：

- 过大片（或过长或过厚）
- 木针（正常的长度，但宽度和厚度小于 3 mm）
- 木屑（具有非常短小或细碎纤维的木材微屑，一般可筛分通过 3mm 的孔径）
- 树皮和过烧木（burnt wood）
- 腐朽木
- 尘土和外来杂物

过大木片造成加工处理上的难题，而且是化学制浆中筛渣的主要来源。木针、木屑和腐朽木降低纸浆得率和强度，并影响化学制浆蒸煮系统的药液循环。木针所含纤维的质量很好，但如可能，应分开蒸煮。

树皮和过烧木是尘埃点的来源，特别是在机械木浆和亚硫酸盐法浆厂中。硫酸盐法对树皮比较宽容，因为许多树皮粒子是溶于烧碱液的。

全树木片的利用促进了木片树皮脱除技术的发展，树皮脱除率现已可达到 70%。所发明的方法包括空气分离，液体浮选和压缩去皮，以及其他完善这些方法的处理过程。Papriker 法已有不少文献作了介绍⁽²⁾，它要求木片先经过汽蒸，使杂物松动，再在一组碎浆机中强力搅拌，最后洗涤将杂物分离出来。

木片用在盘磨机械制浆系统中时，最重要的是可加速磨片磨损的沙子、砂砾和其他外来物要很少。作为预防措施，很多盘磨制浆系统均配有一个木片洗涤段。示于图 3-39 的 Defibrator 系统利用旋转桨叶在水中强制地浸没和搅拌木片，以分离出重物质，然后木片通过螺旋滤干机输送，以除去沙子和细小微粒。

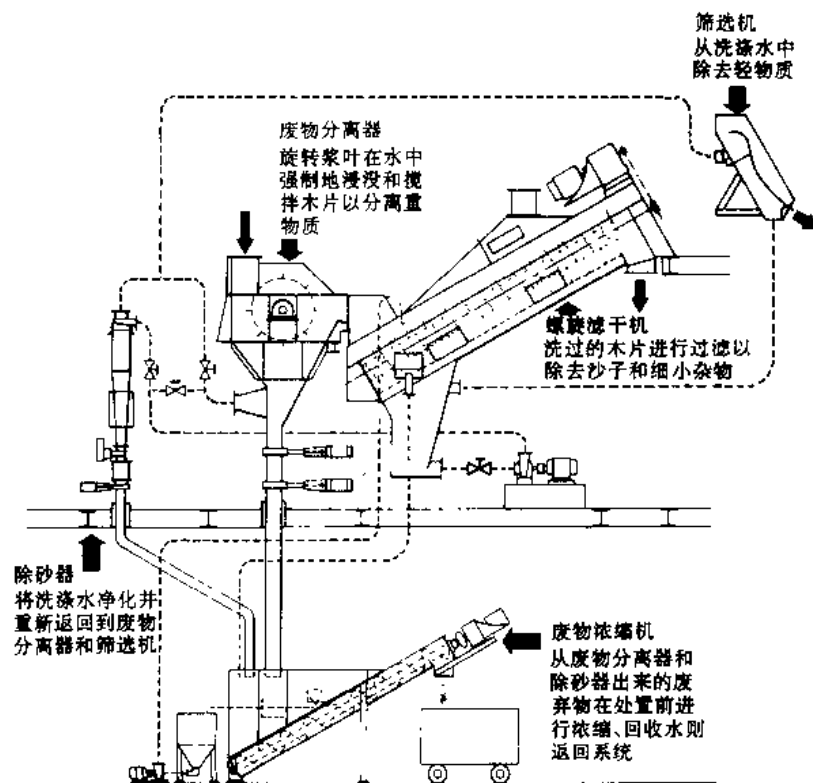


图 3-39 Defibrator 木片洗涤系统

参 考 文 献

- (1) FULLER, W. S. **Chip Pile Storage-a Review of Practices to Avoid Deterioration and Economic Loss** *TAPPI Journal* 68 : 8 : 48-52 (August 1985)
- (2) BERLYN, R. W. and SIMPSON, R. B. **Upgrading Wood Chips: the Paprifer Process** *TAPPI Journal* (March, 1988)

第4章 制浆方法概述

制浆是指将木材（或其他纤维原料）转化为纤维物质的任何工艺过程。它基本上是有系统地破坏木材结构内部联系的一种手段。这项任务可通过机械的、加热的、化学的、或上述综合的方法加以完成。现有已工业化的工艺，大致分为机械、化学或半化学三大类。这些工艺的特征示于表4-1。

表4-1 制浆方法的总分类

机械法	综合法	化学法
利用机械能制浆 (少量化学品和热能) 高得率* (85%~95%) 短而不纯的纤维 • 强度低 • 不稳定 良好的印刷质量 举例 • 磨石磨木浆 • 盘磨机械浆 • 热磨机械浆	以化学和机械法 综合处理制浆 中等得率 (35%~85%) 纸浆品质属“中等” (有若干独特品质) 举例 • 中性亚硫酸盐半化学浆 • 高得率硫酸盐浆 • 高得率亚硫酸盐浆	以化学品和热能制浆 (少量或没有机械能) 低得率 (40%~55%) 长而强的纤维 • 强度好 • 稳定 较差的印刷质量 举例 • 硫酸盐浆 • 亚硫酸盐浆 • 烧碱法浆

* 得率=所得的浆重/原来的木材重(绝干)

当前各种主要制浆方法的年产量示于表4-2。化学浆占北美产量的70%，其中95%是由占统治地位的硫酸盐法所生产。从表上看出，半化学浆仅占产量的5%；但现在包括在未漂硫酸盐和亚硫酸盐法中的“高得率硫酸盐”和“高得率亚硫酸盐”浆更适宜于归类于半化学浆。

表4-2 1990年北美纸浆产量(千短吨)

项目	美国	加拿大
溶解浆	1293	221
造纸用化学浆		
亚硫酸盐法总计	1561	1603
漂白硬木硫酸盐		1764
漂白软木硫酸盐		7006
漂白硫酸盐法总计	27562	8770
未漂硫酸盐法	22188	1503
硫酸盐法总计	19750	10273
化学机械浆	4219	514
机械浆	6452	11637
总计	63275	25234

资料来源：API & CPPA

表 4-3 给我们提供了北美主要产浆州和省的木浆厂数目的区域分布。有意思的是,绝大多数亚硫酸盐浆厂都在传统的产浆区(如华盛顿州、威斯康星州、安大略省、魁北克省),而最近开发的地区(如亚拉巴马州、佐治亚州、路易斯安那州、不列颠哥伦比亚省)则主要都是硫酸盐法化学制浆。

表 4-3 1990 年浆厂的地域分布 (Lockwood 辞典)

国家和地区	硫酸盐法	亚硫酸盐法	半化学法	机械法	总计
美国					
亚拉巴马	14		2	4	20
佐治亚	12	—	1	2	15
路易斯安那	10	—	4	3	17
缅因州	7	1	—	10	18
俄勒冈省	7	—	3	11	17
华盛顿州	7	6	3	7	23
威斯康星州	4	6	1	11	22
加拿大					
不列颠哥伦比亚省	18	1	—	15	34
安大略省	9	4	2	15	30
魁北克省	10	8	2	41	61

浆厂汇总也包括了“二次纤维”部分。这一部分主要是利用从各种来源的废纸中回收可用的纤维。这种纤维最终循环回用成为各类纸和纸板产品,其强度和质量均足以取代较昂贵的“原纤维”。二次纤维的回收技术将在第十四章叙述。

4.1 各种制浆方法介绍

机械制浆

最古老而且仍为一个主要机械制浆方法的是磨木浆法。该法将木段从长度方向压向一个湿润粗糙的、以 1000~1200m/min 圆周速度旋转的磨石上。从木段上分离下来的纤维,经过磨解用水从磨石表面冲洗下来。稀释的纤维悬浮液和纤维碎片(图 4-1)进行筛选以除去长条和过大浆渣,接着再浓缩成适合于抄纸的浆料。该工艺过程总的说是比较简单的,但要获得均一、高质量纸浆必须精心地控制磨石表面的粗糙度、磨石的压力、以及喷水温度和流量。

后来在机械制浆方面的进展,包括使用木片在称之为盘磨机的磨盘之间进行碎解和纤维化;其所得产品称之为盘磨机械浆(RMP)。RMP 通常比磨石磨木浆保持更长的纤维长度并获得强度更好的纸张。

最基本的 RMP 法在过去 20 年间已获得进一步发展。大多数新安装的设备现在都对木

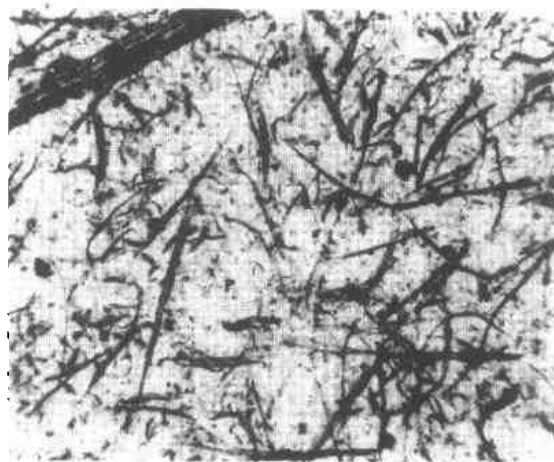


图 4-1 云杉磨石磨木浆

片进行加热和(或)化学的预软化处理,以降低能耗和改善最终纤维的品质。例如,当木片进行带压蒸汽的预处理时,所得产品称为热磨机械浆(TMP),其强度明显高于RMP,并含非常少的筛渣。

机械制浆法的优点可将高达95%的木材(干重)加工成纸浆,但需要以大量的能耗来达到这个目的。纸浆可制成具有良好印刷性能的高度不透明纸张,但纸页脆弱以及暴露在光照下易于降低白度。为获得足够的纸页强度,经常需要在机械木浆中加入长纤维化学浆。新闻纸传统上由约75%磨木浆和25%化学浆配制而成;现在有些新闻纸可以用100%TMP制成。

机械木浆一般都用软木制成。较短木的硬木纤维在传统机械法制浆时更易受到很严重损伤,并获得更细碎、更呈粉状的纸浆(图4-2),这种纤维形成的纸页非常脆弱。虽则有明显的强度方面的缺陷,但白度特别高的硬木机械浆(例如杨木)有时与软木浆混合可改进光学性能。目前,化学热磨机械浆法的最新进展和应用,已有可能最终使造纸工业开发出用某种硬木(如杨木和桉木)生产出强度较好的短纤维纸浆,这种纸浆适合混用于各种不同的抄纸配料中。

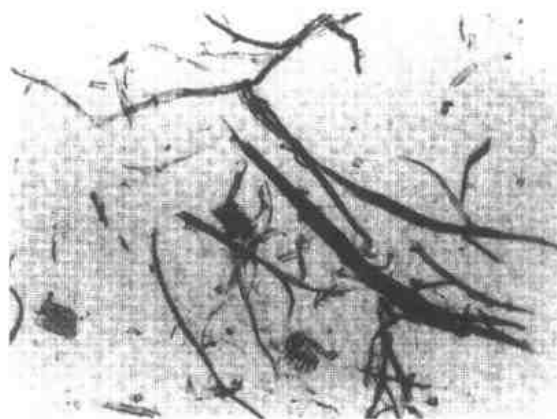


图4-2 杨木(三角叶杨)磨石磨木浆

化学制浆

在化学制浆中,木片是在含有适当化学品的水溶液中,以高温高压进行蒸煮。目的是降解和溶出木素,而留下完整纤维形态的绝大多数纤维素和半纤维素(图4-3和图4-4)。实际情况是,化学制浆法在脱除绝大部分木素方面是成功的;它们还降解和溶解了一定数量的半纤维素和纤维素,所以得率就比机械制浆法低,一般为原材料物质的40%~50%。

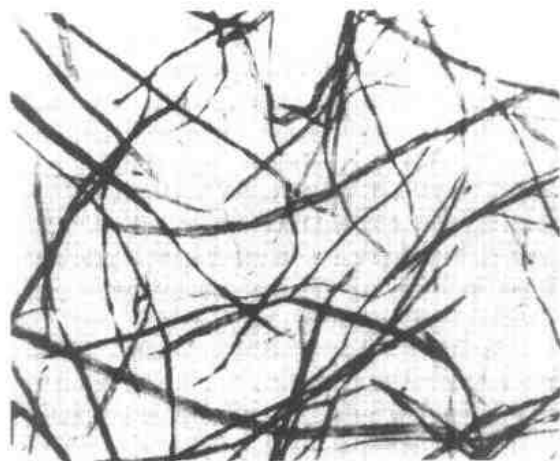


图4-3 软木硫酸盐浆(红松)

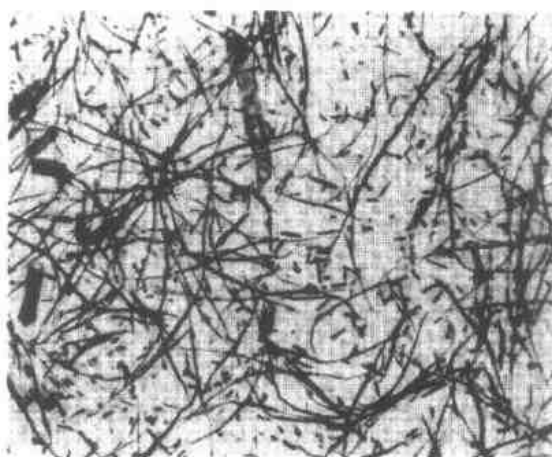


图4-4 硬木

硫酸盐法(碱法)和亚硫酸盐法(酸法)是两个基本的化学制浆方法。硫酸盐法由于在化学品回收和纸浆强度方面的优点而居于统治地位。在20世纪40年代后期以前很普遍的亚硫酸盐法已是日落西山。自20世纪60年代以来在北美已不再建新的亚硫酸盐浆厂。尽管如此,亚硫酸盐法制浆仍有其支持者,已提出了对其工艺进行改革使之更具竞争力的建议。表

1.4 提供了各类化学和半化学制浆法的汇总,其中每一种方法都将在本章内作简要介绍。亚硫酸盐法和硫酸盐法制浆则以较长篇幅在第6、7章分别讨论。

表 4-4 主要的化学和半化学制浆法

	硫酸盐法	酸性亚硫酸盐法	亚硫酸氢盐法	中性亚硫酸盐半化学法
化学品	NaOH Na ₂ S	H ₂ SO ₃ , M (HSO ₃) ₂ (M=Ca, Mg, Na, NH ₄)	M (HSO ₃) ₂ (M=Ca, Mg, Na, NH ₄)	Na ₂ SO ₃ Na ₂ CO ₃
蒸煮时间/h	2~4	4~24	2~4	1/4~1
药液 pH	13+	1~2	3~5	7~9
蒸煮温度/℃	170~180	120~135	140~160	160~180

硫酸盐法

硫酸盐法是指木片在氢氧化钠(NaOH)和硫化钠(Na₂S)的溶液中进行蒸煮。碱液的侵袭使木素分子碎解成较小的组分,木素钠盐溶解于蒸煮液中。硫酸盐法国外俗称“Kraft”,德文中是强韧的意思,Kraft 纸浆可制造强韧的纸产品;但其未漂浆呈深棕色。硫酸盐法有独特的臭味气体,主要是有机硫化物,它对环境有污染。

自从 Carl. Dahl 将硫酸钠引入蒸煮系统,硫酸盐法作为烧碱法(它只利用氢氧化钠作为活性化学品)的改进工艺,已历经百年以上。以后将蒸煮液中的硫酸钠改为硫化钠,使得在蒸煮软木时的反应动力学和纸浆性能均大为改善。因为硫酸钠曾经是传统补充化学品,所以称之为“硫酸盐法”。蒸煮碱液中硫化钠的存在对硬木制浆影响不大,有些硬木浆至今仍沿用烧碱法生产。

硫酸盐浆有好多个等级。制造包装纸用的未漂硫酸盐浆比制造白纸用的漂白浆有更高的得率并含更多的木素。

亚硫酸盐法

在亚硫酸盐法中,是用亚硫酸(H₂SO₃)和亚硫酸氢根(HSO₃⁻)的混合物与木素起反应,并使其溶解。亚硫酸盐与木素结合形成木素磺酸盐而溶于蒸煮液中,残留的木素化学结构基本上是完整的。亚硫酸氢盐的化学盐基可以是钙、镁、钠或铵离子。亚硫酸盐制浆可在很宽的 pH 范围内进行。“酸性亚硫酸盐”意味着以过量游离亚硫酸(pH 1~2)进行制浆,而“亚硫酸氢盐”蒸煮则是在低酸度条件(pH 3~5)下进行。

亚硫酸盐浆色泽比硫酸盐浆浅,漂白容易,但其纸页要比相应的硫酸盐法纸页脆弱。亚硫酸盐法适用于云杉、冷杉和铁杉之类的软木和杨木、桉木之类的硬木;但多树脂软木和含丹宁的硬木则很难处理。这种对材种的敏感性以及较低的强度,和化学品回收方面的较大困难,均是使亚硫酸盐制浆在与硫酸盐制浆竞争中败北的主要原因。由于亚硫酸盐法对树皮的不宽容性,向全树削片发展的趋向使它进一步处于劣势。硫酸盐法和亚硫酸盐法的相对优点归纳于表 4-5 中。硫酸盐浆、亚硫酸盐浆和亚硫酸氢盐浆的强度比较示于图 4-5。

表 4-5 两种主要化学制浆法
(硫酸盐与亚硫酸盐)的相对优点

硫酸盐法的优点
• 生产出最高强度的纸浆
• 使用成熟的高效碱回收技术
• 适用于各种不同材种
• 在制浆过程中对树皮较宽容
亚硫酸盐法的优点
• 生产出较高白度的未漂浆
• 纸浆易于漂至很高白度
• 生产较高得率的漂白浆
• 纸浆易于磨浆

根据最终用途,亚硫酸盐浆有好几个等级。高得率亚硫酸盐浆通常是用低游离酸的蒸煮液(即亚硫酸氢盐离子成为占优势的活性化学品)制取。

半化学法制浆

半化学法制浆综合了化学法和机械法。木片基本上是用化学品局部软化或蒸煮;然后用机械法完成其余的浆化作用,最常用的机器是盘磨机。其典型流程示于图 4-6。半化学法具有机械制浆与化学制浆之间的中间范围得率,即下木材的 55%~85%。这种纸浆用途很广,并有若干独特的性能,最好的例子是,得率约 75% 的半化学浆具有优良的挺度,可制取瓦楞箱纸板内理想的瓦楞芯层。

严格地说,任何机械制浆法在木片盘磨制浆前或制浆时结合化学处理,均可确定为半化学法制浆。但实际上,如果化学处理相对地很轻,这种纸浆仍可认为是机械浆。一般经验是所有得率 85% 以上的纸浆名义上均算作是机械浆。但这种相当随意性的分类,使得若干种新型的制浆工艺实际上处于机械法制浆与半化学法制浆之间。例如,通常所说的化学机械浆和极高得率亚硫酸盐浆,其得率范围为 80%~92%。

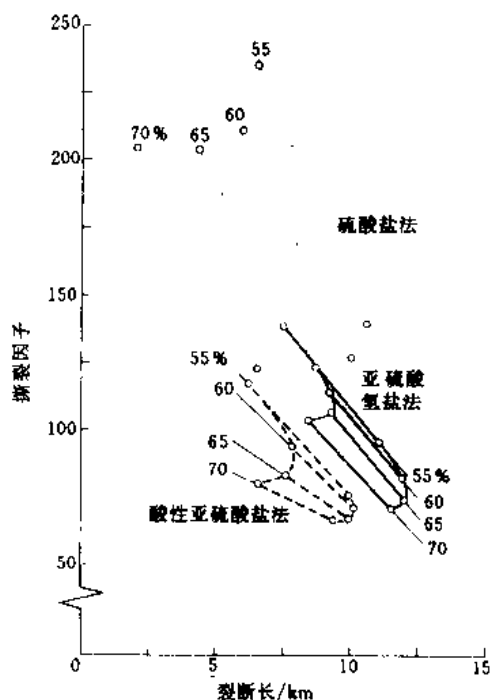


图 4-5 木经打浆和打浆到约 250CSF 的各类纸浆撕裂度与抗张强度的比较
(Hartle 等人的数据)

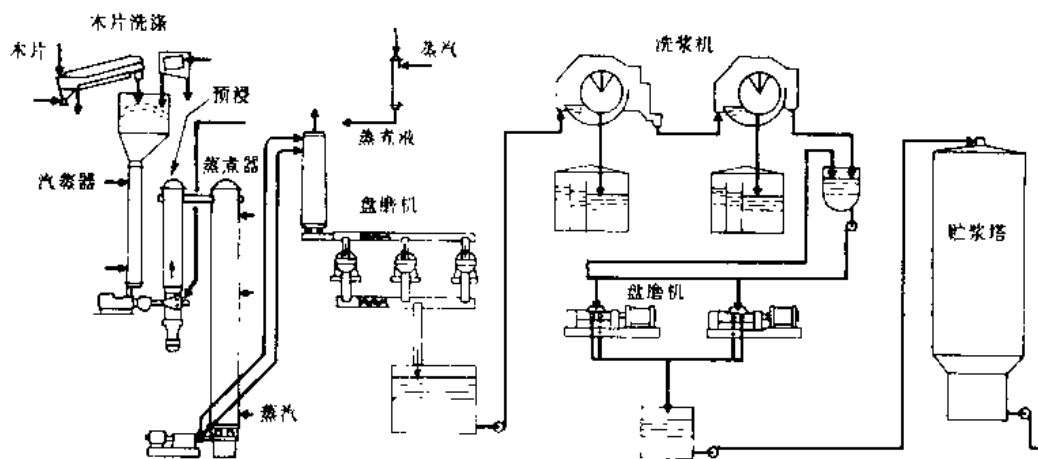


图 4-6 利用连续蒸煮的半化学浆厂流程图

高得率硫酸盐和高得率亚硫酸盐法包括在半化学法制浆分类中。在这两种情况中,蒸煮过程限于部分地脱除木素;真正的纤维分离是靠机械作用。蒸煮的程度控制了得率大小:随着得率的增加,纤维离解需要大量的能量。

主要用于硬木木片的中性亚硫酸盐法是最广泛应用的半化学法制浆。通常将中性亚硫酸盐半化学浆(Neutral Sulfite Semi-Chemical)简写成 NSSC。该法使用以碳酸钠作为缓冲剂的亚硫酸钠蒸煮液,中和在蒸煮时从木材中溶出的有机酸。

为了在生产过程中去掉硫，现在有些半化学浆采取碳酸钠与氢氧化钠的混合溶液进行蒸煮^①。另有一些浆厂，特别是那些跟硫酸盐浆厂结合在一起的厂，则直接利用绿液（碳酸钠加硫化钠）进行蒸煮。下面是 1978 年北美瓦楞芯纸厂的调查情况：

半化学法	工厂数
NSSC 法	21
绿液法	8
“无硫”法	10
其他	3

半化学法制浆的废液中，化学品和有机物的浓度尚比较高，因此必须有某种型式的化学品回收工序。与现有硫酸盐法或亚硫酸盐法浆厂系统实行交叉回收，很容易达到此目的。在没有可能进行交叉回收时，流化床煅烧是应用于有机物燃烧和化学品回收的最常见方法。

表 4-6 对云杉半化学浆的五种不同制造方法作了很好比较，并基本涵盖了全部得率范围。在云杉硫酸盐浆的全得率范围内若干强度参数的近似行为列示于图 4-7。

表 4-6 纸浆得率对以不同方法生产的云杉半化学浆性能的影响，
都以打浆到游离度 500CSF 进行比较

纸浆 类型	未漂浆 得率/%	纸浆中的 木素/%	白度 /%	转数 (PFI°) 千转	松厚度 (cm ³ /g)	耐破 因子	裂断长 /km	伸长率 /%	撕裂 因子	双次 耐折度
酸性亚硫酸盐浆	87.3	27.6	61.2	13.1	2.02	25	5.0	1.8	52	23
	81.8	27.8	56.1	15.1	1.78	60	8.8	2.6	64	300
	76.6	26.1	55.2	11.6	1.50	75	10.4	2.9	63	560
	74.0	25.2	54.2	7.2	1.48	81	11.4	3.0	64	660
	65.9	23.4	55.1	7.6	1.41	93	12.4	3.1	70	1120
	57.2	19.3	61.6	5.2	1.39	91	11.5	2.8	69	1550
	55.5	12.7	64.3	2.6	1.32	94	12.3	3.2	76	1110
亚硫酸盐浆	89.0	28.7	60.4	6.4	2.73	17	4.0	1.8	70	—
	83.2	30.5	57.2	5.7	1.96	36	6.5	2.4	67	160
	76.5	30.0	53.6	5.1	1.78	47	7.6	2.6	74	200
	72.8	28.9	52.5	5.7	1.62	58	8.8	2.7	67	310
	64.6	23.5	53.7	1.1	1.59	65	9.7	2.8	78	540
	59.7	—	60.3	1.5	1.50	69	10.2	3.0	76	900
	51.0	7.2	61.5	2.4	1.34	76	10.8	3.4	80	1210
中性硫酸盐浆	86.8	28.1	52.6	22.8	1.70	53	8.2	2.5	60	280
	79.2	—	51.8	16.6	1.61	65	9.8	2.7	61	150
	72.1	24.8	51.5	16.4	1.54	81	11.0	2.9	75	680
	69.7	23.4	50.3	17.9	1.53	92	12.5	3.0	68	880
	61.4	20.9	51.0	16.0	1.17	103	13.1	3.0	72	710
	61.3	18.7	51.2	11.9	1.12	101	14.1	3.1	74	1330
	52.3	12.8	55.5	5.40	1.47	113	14.6	3.1	76	1370

续表

纸浆 类型	未漂浆 得率/%	纸浆中的 木素/%	白度 %	转数 (PFI ⁺) 千转	松厚度 ⁺ (cm ³ /g)	耐破 因子	裂断长 /km	伸长率 /%	撕裂 因子	双次 耐折度
硫酸盐浆	93.4	29.2	29.7	9.2	2.43	4	1.6	0.8	23	0
	88.5	29.7	27.2	15.6	2.10	7	2.3	1.0	30	1
	76.8	30.0	18.9	19.3	1.60	26	5.3	2.2	69	45
	71.3	27.0	17.2	26.0	1.57	59	8.1	3.2	84	500
	63.8	20.9	17.8	25.0	1.43	87	10.1	3.7	96	1440
	55.1	14.4	18.6	16.1	1.40	103	12.4	3.9	100	2550
	44.7	4.3	28.7	5.4	1.30	112	12.9	3.8	117	2875
烧碱法	90.2	29.6	26.6	15.0	-	-	-	-	-	-
	79.0	30.9	23.0	24.0	1.87	16	3.7	1.5	65	12
	74.8	29.5	26.7	20.4	1.70	30	5.2	2.0	78	60
	60.7	22.9	17.9	17.0	1.40	66	9.65	3.2	93	680
	57.8	19.8	20.2	16.8	1.48	82	9.85	3.1	99	1240
	48.2	13.0	23.3	11.0	1.40	90	11.2	3.4	111	1840

引自 Liebergott & Joachimes, Pulp & Paper Canada, 80, 12, T395.

* 机械能相关测量值

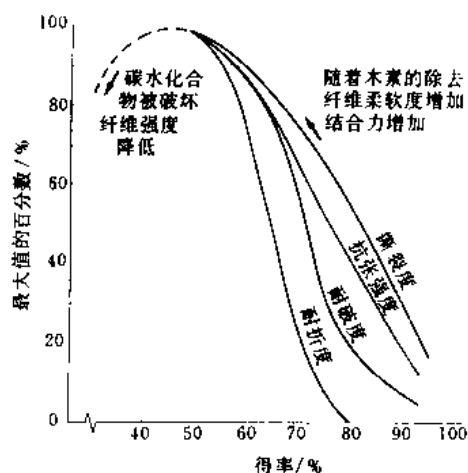


图 4-7 硫酸盐浆得率对某些强度参数的影响 (500CSF)

4.2 商品浆

造纸厂大致可按综合厂（即自产纸浆的）或非综合厂分类。这样的分类常常不是很严格的，在一定情况也许需要有某种限定。例如，有些综合厂可能需要在公开市场上购买它所需要的一部分纸浆。同样，非综合厂很可能有个附属的供浆厂，该供浆厂往往来自同一公司的另一个厂或来自联营公司。

为了估量商品浆的作用，充分了解列示于图 4-8 中的全世界造纸概况是很有必要的。所列出的数据以 100 万 t 级为单位；由于矿物性填料和涂料在总的纸和纸板产量中占比例不能准确地知道，所以统计不是很精确。而且要注意，少量百分比的二次纤维产量应包括在商品浆总量中。

对于全部纸和纸板产量而言，商品浆只占了世界造纸工业纤维需要量的很小一部分，大约 12%。绝大多数商品浆都是高质量的软木漂白浆，这是许多纸厂配浆中一种不可或缺的成份。尽管如此，由于大多数纸的产量不需要供给外来纤维，商品浆的需要量对造纸工业的周期性市场波动是极为敏感的。

非造纸用浆粕占原纤维浆总产量的很小一部分，不到 5%；但它们占了商品浆总量的 20%。通常其最终用途都是高附加值产品，提供给这类市场的浆粕具有特别的品质，且维持较高价格。非造纸用浆粕可分三大类。最大的一块是溶解浆，它拥有成熟而稳定的市场。最快速成长的一块是绒毛浆。其余部分属于少量的和各不相同的用途（如过滤垫层、鞋内底、层

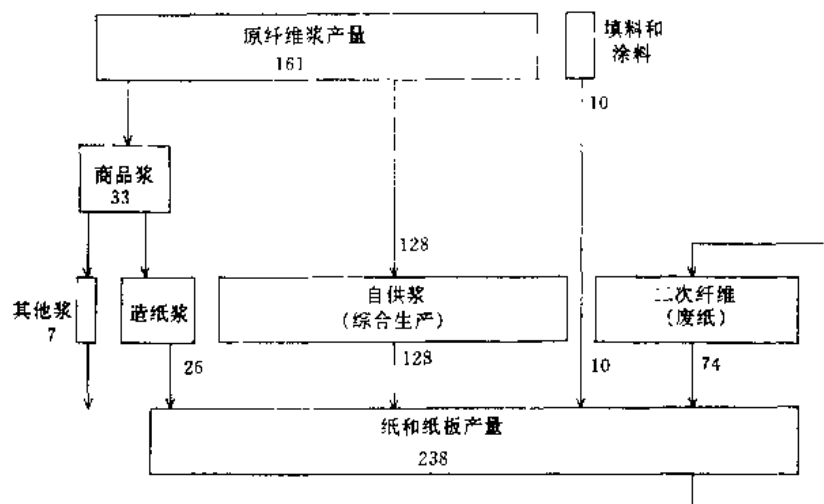


图 4-8 全世界纸浆和纸产量（百万万吨/年）

压板等），统称为特种浆。

溶解浆

溶解浆是指适合于随后经化学加工成诸如人造纤维（Rayon）、玻璃纸（Cellophane）、醋酸纤维素、硝酸纤维素和羧甲基纤维素等产品的化学浆。“化学纤维素”类浆的产量代表了在其自身领域的一个相当大的工业。

溶解浆可用改进型硫酸盐法或亚硫酸盐法制取。任何时候其目的都是要制得聚合度均一的纯纤维素。木素和半纤维作为杂质而被除去。其主要原料是软木，也可用某些硬木。质量最好的浆粕（99% α -纤维素）是从棉短绒制得的。

粘胶法人造丝是溶解浆的最大用户。在粘胶法中化学纯纤维素被“浸泡”在烧碱液中形成碱纤维素，精心地熟化后溶解于二硫化碳中，形成鲜橘色溶液，称之为黄原酸盐。将黄原酸盐挤压进硫酸纺丝池中再生成纤维素。根据挤压出的黄原酸盐是通过小孔还是长缝，可生产出丝状纤维（人造丝）或薄膜（玻璃纸）。

绒毛浆

绒毛浆是另一个重要品种，它在传统的造纸市场以外找到了市场。这种产品可作为一次性卫生巾、妇用产品和医用垫的中间吸收层。由于吸收性和柔软性方面的基本需要，传统上都采用长纤维硫酸盐或亚硫酸盐浆，但最近价格低廉的化机浆占据了市场的重要份额。

绒毛浆通常以成卷形式提供给用户。其水分大小和浆粕的密度必须严格控制，以优化随后绒毛化作业的绒毛质量和能耗量。绝对水分含量控制在8%~10%，比传统的商品纸浆水分要低。同时，借压榨脱去的水分应尽量少些，以避免浆粕过分压缩。这两个因素增加了浆粕干燥设备所需的蒸发负荷，从而降低产量和提高每吨浆的能源费用。较低的生产率以及需要外加卷筒设施，是大多数浆厂不大愿意参与绒毛浆市场竞争的主要原因。但另一方面，绒毛浆的卖价较高，市场可望有比传统浆种更迅速的发展。

4.3 制浆的发展趋势

化学浆厂往往伴随着有害臭气，它来源于制浆生产中所用的硫。通过适当的处理和有效的操作，臭气可以大大减少，从现代工厂废气排放物一般不到25年前典型运作所排出的

10%。遗憾的是有些有机硫化物气体,其浓度低至十亿分之一时仍然有臭味。显然,最理想的是完全不用硫作为制浆化学药品。已发明了很多无硫制浆法,有些已显示出商业价值。但改进型的硫酸盐法仍然是软木和硬木占优势的化学制浆方法。

在化学制浆上一个特别感兴趣的进展是有机溶剂法,它使用乙醇溶解木素。它在硬木制浆上的可行性已在 15t/d 的中试工厂中获得成功,计划要在 300t/d 的商业性工厂中扩大进行。其硬木浆强度可与硫酸盐法媲美,并可能有更高的得率和更卓越的可漂性。溶剂可循环使用,而木素、糖醛和木糖可作为副产品回收。这种方法在 250t/d 那样小的工厂规模可以经济地存活,1000 t/d 规模的浆厂可能仍需硫酸盐法;因此,它可考虑用于扩建的综合性纸厂,或用于新建厂(该处木材资源对于一个大型硫酸盐厂来说过少时)。该法还没有开发生产出与硫酸盐浆相当的软木浆。

总之,发展最快的要数机械浆,它不断获得改进。特别是化学热磨机械浆(CTMP)和化学机械浆(CMP)与其他机械浆比较,显得更洁更白和有更好的强度性能。因此它们可在许多纸张产品中取代化学浆。再则,化机浆的经济规模较小,可在那些无法支持一个化学浆厂的地区建设和运行。可惜其技术还不能防止白度回色。通过加入合适的颜料可在某些纸种上使负面影响减至最小,但白度稳定性尚须改进。

4.4 纸浆性能和用途的比较

几种主要的制浆方法汇列于表 4-7。纸浆纤维的实际抄纸性能不仅取决于木材原料和所用的制浆方法。还取决于随后的纯化、加工和精整处理。更准确地说,解离了的纸浆纤维,其固有尺寸、结构和化学性能,也有可能在以后通过漂白、干燥和磨浆得到改进。

表 4-7 主要制浆方法汇总

类别	方法名	所用木材	原料形式	得率/%	“相对强度”*	
					软木	硬木
机械浆	磨石磨木浆	软木(多数)	木段	90~95	5	3
	RMP	软木(多数)	木片	90~95	5~6	3
	TMP	软木	木片	90	6~7	
化学机械浆	化学磨木浆	硬木	木段	85~90	—	5~6
	烧碱法	硬木	木片	85~90	—	5~6
半化学浆	NSSC	硬木	木片	65~80	—	6
	高得率亚硫酸盐浆	软木(大多数)	木片	55~75	7	6
	高得率硫酸盐浆		木片	50~70	7	6
化学浆	硫酸盐浆		木片	40~50	10	7~8
	亚硫酸盐浆		木片	45~55	9	7
	烧碱法浆	硬木	木片	45~55		7~8

* 全部纸浆强度按“粗线条”的分级

决定纤维质量和抄纸适应性的主要特征是：

- 纤维的长度
- 纤维的密度和粗度
- 内在强度
- 纤维所受的物理损伤
- 纤维素链的化学损伤
- 残余木素的性质和分布
- 半纤维素的性质和分布

各个制浆方法对纤维质量的影响已作了简要介绍，在以后的章节中将作详细介绍。只要控制得当，化学漂白或增白对纤维机械性能影响很小，但所抄成纸页的光学性能将有显著变化。

在抄纸以前，纸浆经过干燥会使其性能有显著改变，因为形成了不可逆转的内结合力。纤维变得比较挺硬，而润胀能力和纤维间结合力降低。因此从经过干燥的纤维抄成的纸张，比较松厚且撕裂度较强，但耐破度和抗张强度要比没有经过干燥的纤维抄成的纸要弱。外运的商品浆一般干燥到80%~90%绝干量。

所有化学浆必须经过磨浆，以发挥其不同用途的最佳抄纸性能。在进行磨浆时，纤维被压溃并变得更为一致，从而生产出耐破度和抗张强度较高的较密实纸页（详细讨论参见第13章）。

软木硫酸盐浆可制得强度最好的纸张，在生产需要强度较好的纸张时都优先选用。典型的用途是包装纸和纸箱衬里用纸。漂白硫酸盐浆配加在新闻纸和杂志纸中以便在高速印刷机上运行时有足够的强度。漂白浆也用于生产面巾纸和食品纸板。

亚硫酸盐浆在需要良好匀度和中等强度的证券纸、书写纸和复印纸方面找到了重要市场。通常是加入硬木硫酸盐或烧碱法浆以改进匀度和不透明度。卫生纸和薄页纸也大量使用亚硫酸盐浆以获得所需的柔软度、松厚度和吸收性。

机械浆在传统上主要用于新闻纸和涂布印刷纸，它可提供填充良好和组织均匀的纸页。由于改进了质量和多功能性，在印刷纸、薄页纸、面巾纸、绒毛浆、涂布原纸和食品箱纸板方面都有广阔的市场。

参 考 文 献

(1) PATRICK, K. L. *Stone Container Mill Brings New Pulp Mill On Line, Goes to No-Sulfur Pulp and Paper* (May 1979)

(2) HANSON, J. P. *No-Sulfur Pulping Pushes Out NSSC Process at Corrugating Medium Mills Pulp and Paper* (March 1978)

第5章 机械法制浆

机械法制浆技术在过去30年间已获得很大进展。在1960年,实际上全部机械浆都是以基本磨木浆(SGW)法生产的。至1975年,SGW仍然占北美产量的90%。但到1990年,50%以上的机械浆由盘磨法所生产。快速转向盘磨法的最初动力是因为它有三个明显的优点:

- (1) 可利用锯材厂废料(木片和锯屑)以替代木段。
- (2) 较高的纸浆强度。
- (3) 减少劳动力费用。

随着盘磨制浆技术的发展,其优点愈来愈明显,例如,具有更大的生产规模、改进工艺控制、利用硬木材种、以及有可能改变工艺条件以获取各种各样的纸浆性能。

在20世纪60年代,林产品工业面临如何有效处置锯材厂多余边角废料的问题。盘磨机械制浆技术的发展提供了一个有效利用现成廉价纤维原料的机会,并且与此同时,生产出强度更好的机械浆,以减少抄纸时所掺配的昂贵化学浆量。

在近年来盘磨制浆法取得中心地位的同时,必须强调,磨石磨木浆法决不会全部被取代。磨石磨木浆法仍有低能耗和高散射系数(即较大的纸页不透明度)的优点。带压、高温磨浆工艺的发展也已有可能生产出强度和其他性能上更具竞争力的磨石磨木浆。

不管采用什么方法,机械浆质量的基本要素是单位产量所用的能量,即单位能耗(每吨浆的马力·日或每千克浆的兆焦耳)。因为连续生产中很难测定单位能耗,在主要工艺控制参数中更经常使用的是纸浆游离度(参看讨论测试游离度的22.3节)。通常每吨浆能耗愈高,纸浆的游离度愈低。可惜的是,两个参数之间的关系,随原木质量而在很大范围内变化(见图5-1所列的磨木浆数据)。大多数机械浆为总的控制纸浆质量和纸机成形网上的浆料滤水度,实际都是在规定游离度范围内制浆的。

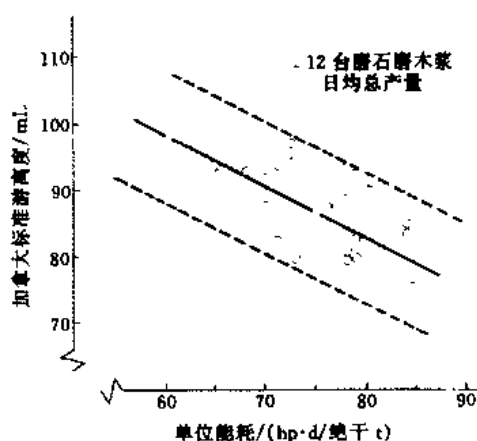


图 5-1 传统磨石磨木浆的单位能耗与游离度之间的关系

注: 1hp=746W

5.1 机械法制浆的术语

由于新的改良式机械浆工艺的迅速发展,必须使用正确的专用术语以避免混淆。在1987年,TAPPI机械浆委员会发表了一个汇总表,示于表5-1⁽¹⁾,该术语体系获得了普遍承认。每个方法的名词和简称代表制浆所用的温度、化学品、压力和磨浆装置的具体组合。机械浆(包括某些高得率亚硫酸盐半化学浆)的分支图示于图5-2。

通常,任何类型的磨石磨木浆均以字母GW表示,任何其他类型的机械浆均以字母MP表示。另外加上去的字母专指加工工艺的组合和顺序。通常以85%得率作为机械浆和半化学浆之间的分界线。

表 5-1

机械浆术语和制浆法

SGW	磨石磨木浆 • 常压磨浆	CRMP	化学盘磨机械浆 • 常压（低温）化学处理 • 常压磨浆
PGW	压力磨石木浆 • 在温度大于 100℃ 下磨浆	CTMP	化学热磨机械浆 • 在 >100℃ 下预汽蒸与化学品处 • 一段在 >100℃ 下磨浆 • 二段常压磨浆
RMP	盘磨机械浆 • 无预处理的常压盘磨制浆	TCMP	热磨化学机械浆 • 在 >100℃ 下预汽蒸与化学品处理 • 常压磨浆
TRMP	高温盘磨机械浆 • 木片在 >100℃ 下预汽蒸 • 常压磨浆	TMCP	• 热磨机械化学浆（或 OPCO 浆） • 一段在 >100℃ 磨浆 • 常压化学处理 • 二段常压磨浆
PRMP	压力盘磨机械浆 • 无预汽蒸 • 一段在 >100℃ 下磨浆 • 二段在 >100℃ 下磨浆	LFCMP	长纤维化学机械浆（或）
TMP	热磨机械浆 • 木片在 >100℃ 下预汽蒸 • 一段在 >100℃ 下磨浆 • 二段在常压磨浆	CTLF	经化学处理的长纤维浆 • 从机械浆分离出长纤维 • 然后经化学处理和磨浆
PPTMP	压力/压力热磨机械浆 • 木片 >100℃ 下预汽蒸 • 一段在 >100℃ 下磨浆 • 二段在 >100℃ 下磨浆		

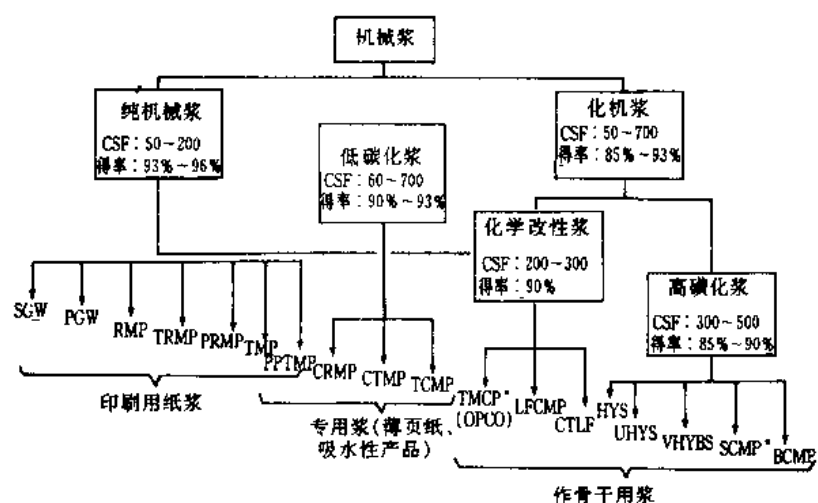


图 5-2 机械浆分支图 (W. Cooper 和 J. A. Kurdin)

5.2 磨石磨木浆工艺

在磨石磨木浆法中,纸浆是借将木段压向旋转的磨石面而生产出来的。木段方向与磨石轴平行,以便摩擦作用分离出完整的纤维。

自19世纪40年代发明磨石磨木浆法以来,其基本原理实际上并没有多大改变,但在磨木机的结构和控制上、木材搬运和给料技术上以及人造磨石的制造上有了重要进展。一个典型的新型磨木浆厂只要4~6台磨木机就可供一台大型纸机之需。自动木段给料系统的劳动力需要量已急剧减少到大致0.05个工时/t浆。如用人工将木段输送和送入磨木机时,所用劳动力要高达2~3个工时/t浆。

整个磨石磨木浆法的流程图示于图5-3。本章重点将集中在实际的磨浆作业上。筛选、净化、浓缩、和其他工序等对所有浆厂属于共性的作业,在第9章中讨论。筛选和净化的任务是从浆流中除去未分离的纤维束(长条)、粗短物(碎片)、和其他有害成分(例如树皮和尘埃点)。浓缩(或脱水)的目的是脱除水分和提高浆浓。

磨木机

磨木机的基本结构示于图5-4。作用到木库的可控压力,使木段表面被压向旋转着的磨石面。小心地调节条形栅以限制进入浆坑的木材碎片规格。喷水管是用以将磨石上的纤维冲下来进入浆坑,而且保持磨石面的冷却和洁净。磨石也可局部淹没在浆坑中以加强冷却,有一个调节板或堰,用以控制淹没的深度。浆料溢流过堰板进入一个共用浆道,该浆道将各台磨木机的浆料送去中心贮槽。再从中心贮槽将浆料泵送至筛选室。

磨石

磨木机的主要部件是带轴的磨石(图5-5)。所生产纸浆的质量(即强度和滤水性能)主要取决于磨石的表面品质。实际上北美所有的磨石都是以一定规格的耐磨材料用人工制成的。但在磨木一段时间后,磨石面就变得比较平滑,而且生产能力下降,需重新使其接触表面粗糙化。使磨石“锐利”的方法,通常是借金属刻石轮在其表面刻出纹路。刻石轮的位置由刻石机控制。

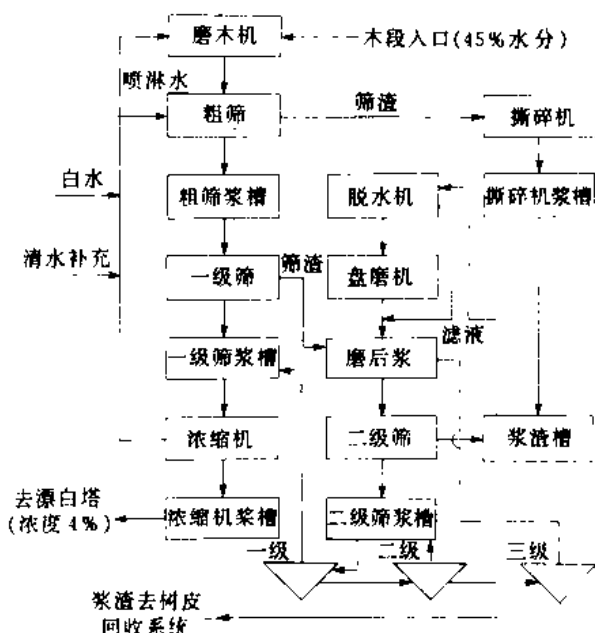


图 5-3 典型的磨木浆流程 (Bruley)

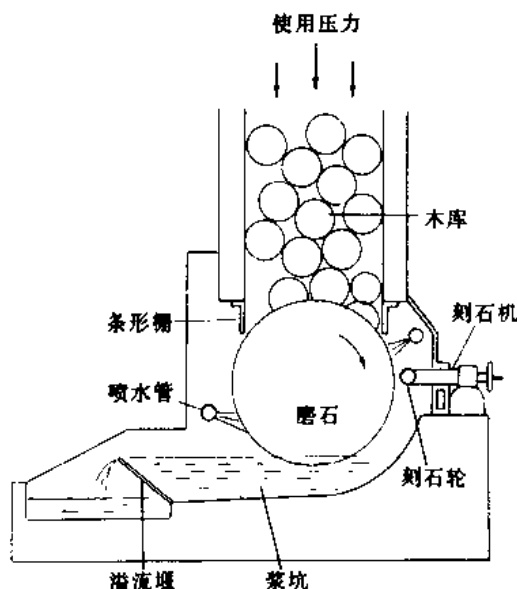


图 5-4 显示出基本组成的磨木机结构图

磨石的耐磨组合块是分开制造并用螺栓联结到一个钢筋砼的芯体上,示于图 5-6 和图 5-7。砂轮片由氧化铝或碳化硅耐磨料用陶瓷粘结剂粘接而成。通常,耐磨层约 7cm 厚,当持续使用约 2 年后,有用的耐磨层被磨损掉,磨石就需更换了。

为了制造磨石的耐磨组合块,磨料粒子要按规格分类。磨料的平均规格、陶瓷粘结剂的型式、以及磨料与粘合材料的相对比例都对所生产纸浆的质量和性能有影响。通常,较小的磨料粒子用于生产低游离度的磨木浆,中等规格的磨料用于生产新闻纸用浆,而粗粒磨料则用于生产纸板类用浆。当浆厂订购新磨石时,其规格要求还必须考虑用于制浆的原木材种以及具体的磨浆条件。

磨浆机理

磨浆的机理曾一度简单地被看作磨料突出物使木材纤维化的撕碎作用。虽然该机理在某种程度上适用于新刻石的磨石情况,但现在看来,这对于典型的“经过处理的”磨料来说不是很重要的。研究表明,占优势的作用是当磨料接触木材时,在其界面高频率的加压和减压作用(图 5-8 和图 5-9)。这种反复作用的疲劳破损效应,使纤维松动。同时,在发生解离作用时,磨石与木材以及木材与木材之间的摩擦产生了高热量。该热量软化了将纤维粘结在一起的木素,并促使纤维从木材物质中分离出来。

由于在磨浆区内所有的磨浆能量实际都被转化为热量,因此喷淋水的温控作用就成为磨浆作业的一个重要方面。用太多的水量冷却,将不利于软化作用,而水量不够则将可能产生焦化现象。

磨浆的控制

磨浆过程的各种影响因素全面归纳在表 5-2 中。磨木机本身的结构状况也可作为一个变数。通常,主要的控制参数是纸浆游离度。主要的磨木浆浆种、以及目标游离度水平和相应的单位能耗水平示于表 5-3。

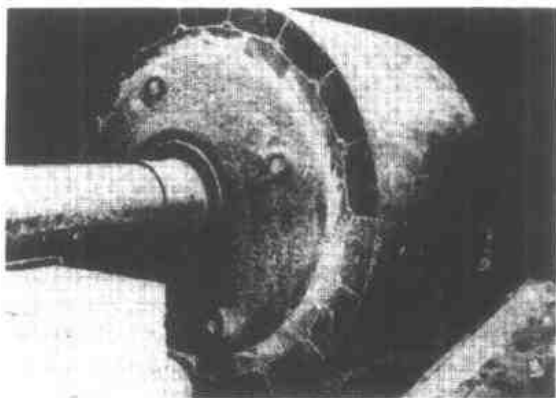


图 5-5 带轴的磨石

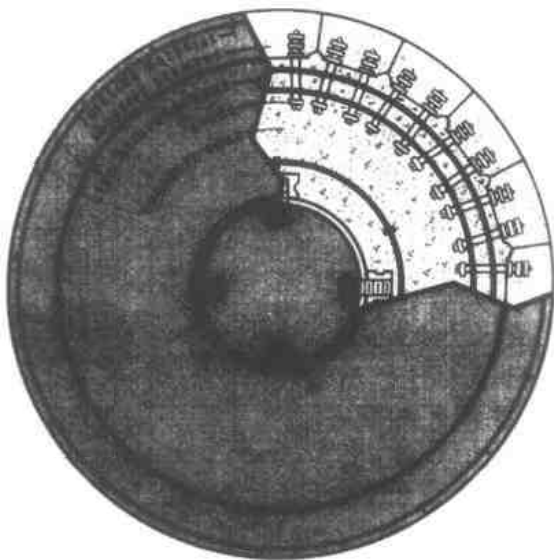


图 5-6 陶瓷磨石的详细结构

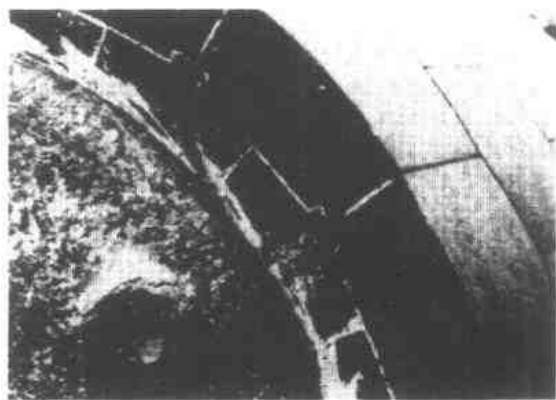


图 5-7 显示磨石耐磨层部分的特写镜头

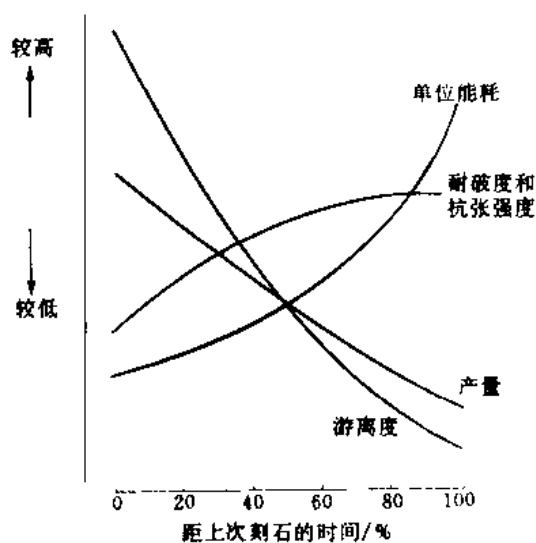


图 5-10 刻石周期对磨浆产量和质量参数的影响
(在固定木库压力)

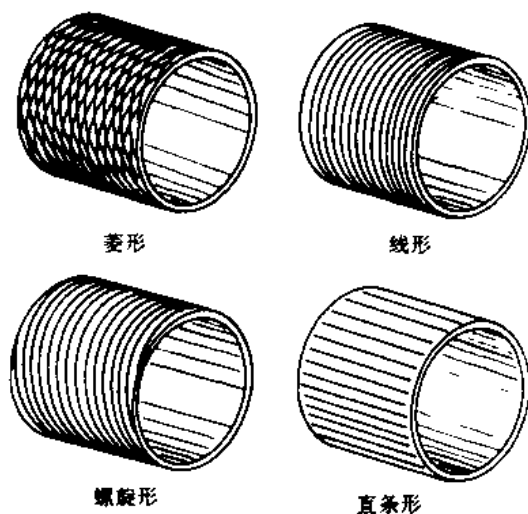


图 5-12 不同的刻纹

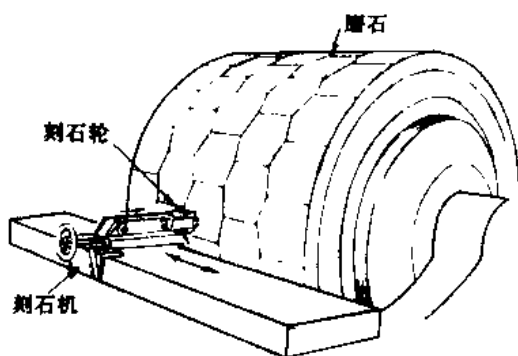


图 5-11 刻石作业

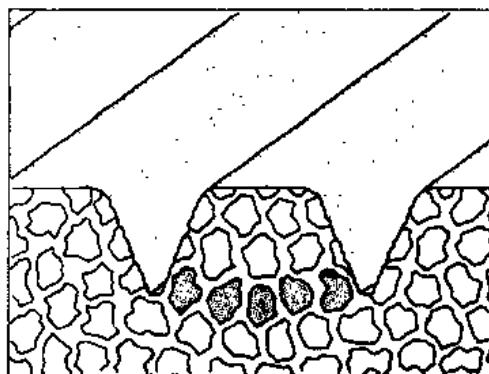


图 5-13 磨石刻过后的横截面，显示刻纹底宽等于磨料粒径的 5 倍 (Norton 公司)

刻石

刻石是使一个称为刻石轮的小型带纹金属圆筒(约 7.5cm 直径, 7.5cm 长), 移动通过旋转磨石的表面而获得的。为确保刻石均一性, 刻石轮安装在一个刻石机上(图 5-11)。刻石轮通常要在磨石的同一沟纹中来回行走几次, 以获得理想深度的刻纹。所用的各种刻石轮花纹(见图 5-12)中螺旋形和菱形用得最多。一个理想的刻纹横断面示于图 5-13。通常每次刻石都用一个新刻石轮。

木材变数的影响

机械法制浆的木材原料最理想的应该是具有良好强度、高白度、没有变色、低能耗、以及不会造成操作困难的木材。根据这些考虑, 最佳木材材种是云杉, 其次是冷杉。云杉的优良特性是其木材密度低(由于春材含量高)、心材色浅、以及树脂与抽提物的含量低。好多家加拿大纸厂可利用很大区域范围的云杉和香脂冷杉。其他北部和西北部地区则使用铁杉和松木。南方松(例如火炬松、湿地松)则是美国南部当家树种。白杨(Aspen、Poplar)是最普遍应用的硬木。

云杉比其他材种所具有的明显优点,可参看表 5-4 的运行数据。云杉磨木浆常可用于新闻纸而不必再增白。

表 5-4 不同材种磨木浆的比较

项目	云杉	香脂冷杉	铁杉	松木
能耗/(MJ/kg)	5.0	7.2	5.6	6.3
耐破指数/(kPa·m ² /g)	1.4	1.3	1.1	1.1
撕裂指数/(mN·m ² /g)	4.1	3.8	3.2	2.8
白度/%	61	59	57	56

南方松由于夏材含量高而比较密实。而且心材颜色很深,全树的树脂含量都很高。北美洲南方一些纸厂已经学会了如何弥补这些缺点,即通过使用较高能耗以获得较大的比表面积和较低的游离度、通过只用幼材(树龄小于 35 年的)制浆以减少心材、以及利用矾土和烧碱从化学上控制树脂。但典型的南方松磨木浆仍无法与北方云杉磨木浆的性能相媲美。

木材水分含量高时,较容易磨浆。一般至少要含 30% 水分,最好是 45%~50% 水分。有时低水分含量的木材可在磨浆以前浸泡一段时间。

磨木机型式

全世界使用的磨木机有好多种,其中有几种型式的简图示于图 5-14。链式和环式磨木机是连续加压型的代表。库式和袋式磨木机的磨石加压则是间歇的,即每逢液压缸退回,以再装填空袋时,磨石加压便部分被撤除。

许多新厂装有双袋型磨木机,示于图 5-15。这种设计型式很容易实现全自动化,而不会有木材架桥现象,而这对某些连续加压式磨木机来说曾是一个麻烦问题。示于图 5-16 的液压库式磨木机也用于某些现代磨木浆厂。

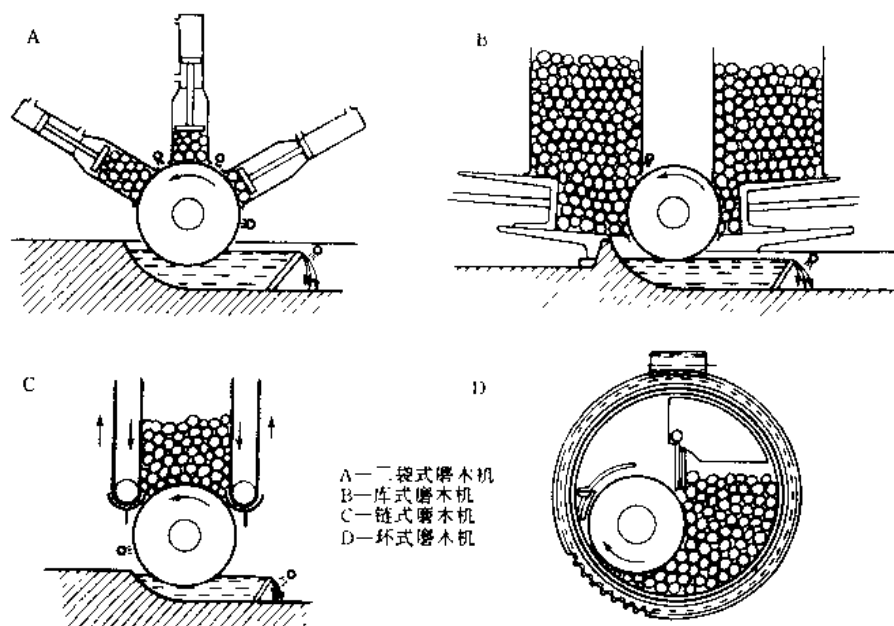


图 5-14 磨木机型

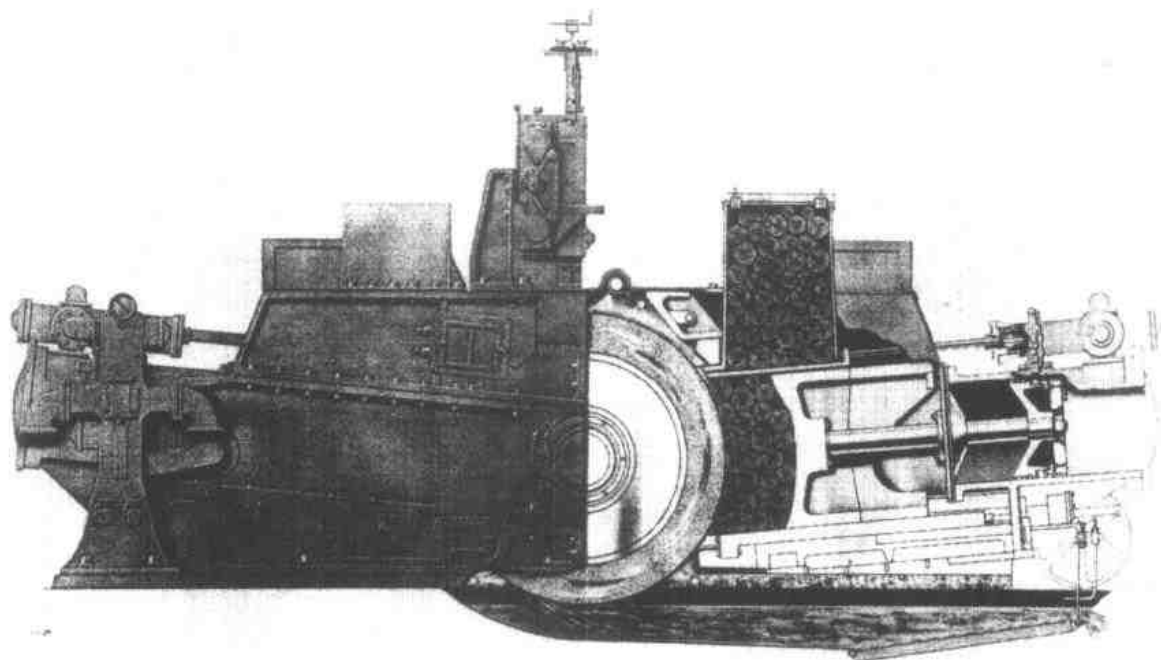


图 5-15 大北式磨木机 (Koehring-Waterous 公司)

筛渣精磨

20 世纪 50 年代以前,筛渣精磨的目的只是简单地减小筛渣规格,使其不至为害而已。这种碎浆渣的质量如何不怎么受到重视,只是被当作填料成分看待。随着盘式精磨机应用,使得有可能将纤维束分离成在质量上可与原磨木浆相比拟的游离纤维。这项筛渣精磨的研发工作以后便成为木片盘磨机械浆的基础。

压力磨木机

随着热磨机械浆的成功,芬兰 (Tampella 公司) 在 20 世纪 70 年代后期开发了一项高于大气压力下磨木的新工艺。第一台商业化的压力磨木机 (PGW) 系统在 1980 年投产。目前全世界每年安装或订货的 PGW 生产能力,已超过 230 万 t 浆,大多数用于印刷书写纸。

PGW 在两方面不同于传统的 SGW: 磨木作业在高于大气压力的 200kPa 下进行、以及磨石的喷淋水温度很高 (超过 95℃)。超压是利用压缩空气获得的,这使得有可能使用较高的磨木温度。在高温下,木材的木素软化,纤维更易从木材中分离出来,而且损伤又少得多。PGW 的长纤维含量要高于 SGW,而同时纤维性能 (即纤维帚化和柔软性) 则大为改善,形

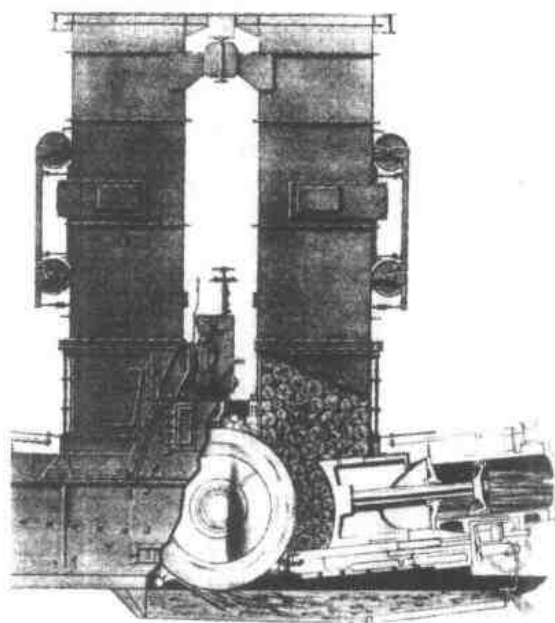


图 5-16 液压库式磨木机

(Koehring-Waterous 公司)

成纤维与纤维之间优良的结合力,和更大的适应性。PGW 与传统 SGW 的强度值相比较,一般撕裂强度提高 40%~60%,抗张强度提高 20%~30%。

PGW 的主要优点是单位能耗实际低于相应的 SGW,且显著低于其竞争对手盘磨制浆工艺。也许 PGW 的唯一局限性是仍需要用木段而不是用木片。

PGW 系统的基本组成是压力磨木装置本体,以及将热水循环回用到磨木机喷水管的装置(参看图 5-17)。从浓缩机返回到喷水管的再循环系统称为“热回路”(hot loop)。浆料在压力下从磨木机出来,经过一台撕碎机(在这里将长条和薄片碎解成火柴杆那样大小)然后经过一个减压喷放阀。就在喷放阀后,过程中形成的多余热量,以闪急蒸汽形式在旋风分离器中从浆料释放出来。低浓度的(1.2%~1.5%)浆料则被浓缩,热滤液再返回到磨木机喷水管。

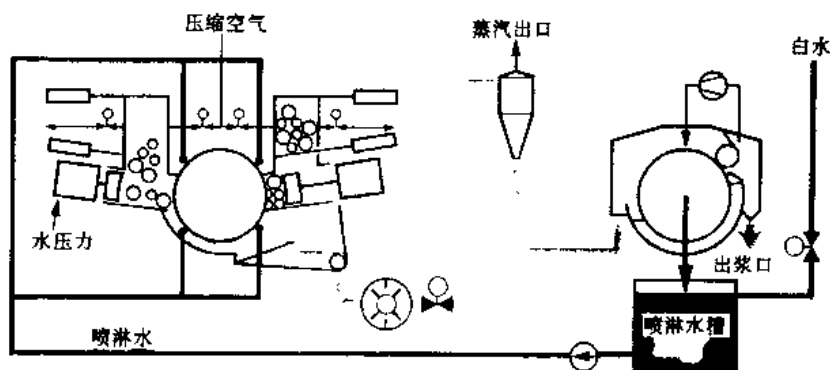


图 5-17 压力磨木浆系统简图 (Tampella)

PGW 的进展

更高温度的 PGW 称之为“超级”PGW (或 PGW S)。在传统 PGW 系统中,喷淋水温度受浓缩机限制,最高不超过 100℃。但新的压力式圆盘浓缩机的开发,可使返回到喷水管的水温达到 140℃。中试表明,用 PGW-S 法可生产出更高强度的纸浆和回收更多的能量。主要缺点是由于温度过高,浆料白度略有降低。

PGW 的另一项进展是在“热回路”中加入各种化学品。到目前为止,将碱性过氧化物加入到磨木机喷水管中已获得最佳效果。1990 年,第一家化学压力磨木浆 (CPGW) 厂已在北美投入生产,其工艺过程即在磨木机作业中利用碱性过氧化物,然后再经过第二段过氧化物漂白。该法已显示对杨木制浆有特殊效果。

5.3 盘磨机械法制浆

盘磨机械法制浆 (RMP) 的商业化生产始于 1960 年。RMP 是用木片 (有时为锯屑) 在圆盘磨中机械磨碎而制得。其过程通常包含使用串联的两个磨浆段作业 (即两段磨浆), 生产出其纤维比传统磨木浆更长的纸浆。因此它比磨石磨木浆显得更强韧、更分散、更松厚些,但通常色泽则稍暗。

RMP 系统的核心是圆盘磨。图 5-18 所示为双盘磨,其各盘反向旋转。另一种结构是一个转盘对着一个固定盘 (图 5-19) 或在两个定盘之间夹一个双面转盘 (图 5-20)。磨片间隙十分重要,是通过一个电动机械或液压系统精确地控制。磨浆原料通过螺旋进料器送入磨浆入口。当原料移动通过磨浆区抵达周边时,木材物料逐渐被碎解成较小的颗粒,最后碎解成为纤维。

水送入磨浆机口以控制纸浆浓度,有时还加入化学品。磨浆机规格可达 1778mm, 配用功率可达 32.5MW (30000hp)。

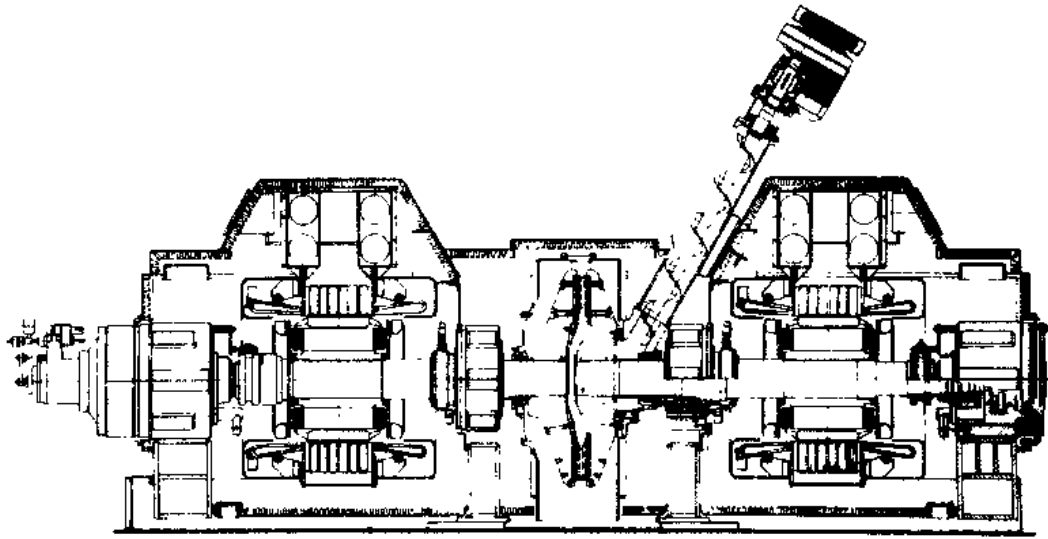


图 5-18 双盘磨 (Sunds Defibrator)

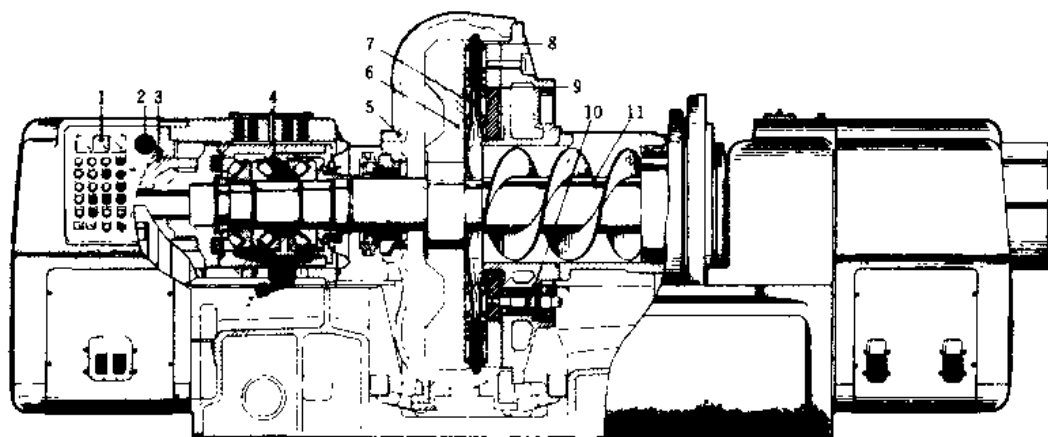


图 5-19 在这个单盘磨 (Single-rotating disc) 设计中, 进料螺旋 (11) 将木片送入磨浆机口 (Sunds Defibrator)

注: 1~10 没有注释, 原文如此

盘磨制浆的机理在有些方面与磨木浆类似,但也有某些基本差别。从磨浆来说,木素的软化是借加压-减压和借圆盘间木-木与金属-木的磨擦而实现的。在磨浆机中,最初的纤维解离过程更接近于木片逐步地分解成越来越小的粒子,并最后成为纤维。对新生纤维中所显示出来的缠绕和卷曲效应,必须使纸浆消潜,即在热水中反应一段时间以便将其解离开来(参见图 5-21)。事实上纸浆在消潜前,其游离度特性很难准确地表达的。

磨浆机磨片

一段磨浆机的磨片,靠近原料入口设计成大距离的厚破碎齿纹(见图 5-22)。这些齿纹破碎木片也许产生离心力,离心力使木材颗粒径向移动并成直线以便在磨浆区获得最佳的效果。

磨浆区含有逐渐变窄的齿纹和沟槽,在这里粗料被加工成浆纤维。磨片通常略带坡度

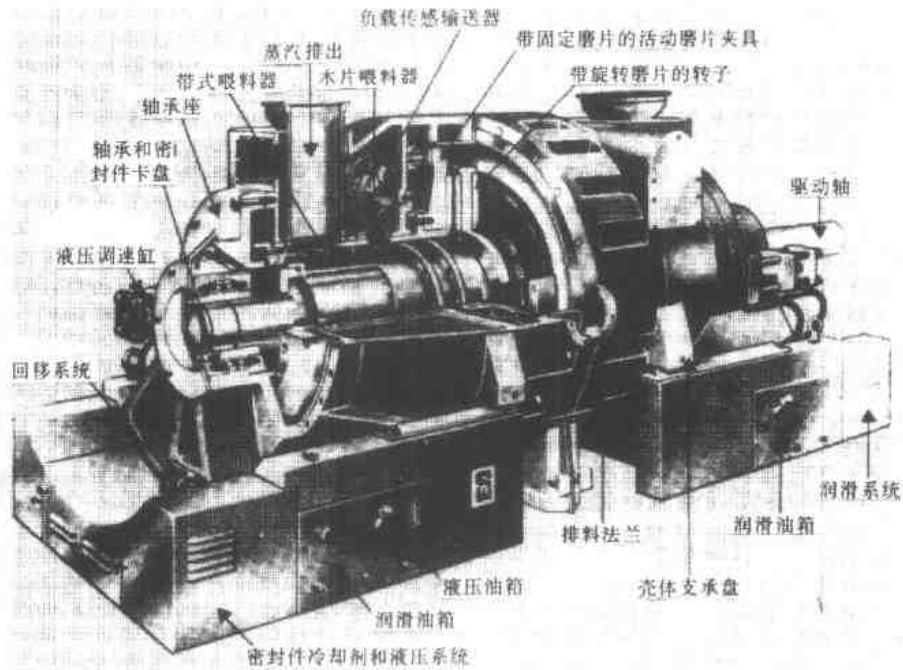


图 5-20 该设计利用单回转盘的双面，因此在一个装置中有两个磨浆室 (Sprout Bauer 公司)

(大致为 0.01mm/mm 以下) 以确保纸浆均一地移向周边。有些磨片每隔一段距离有一个挡料坝堵住沟槽并迫使纸浆越过齿纹。所谓封边式磨片 (closed-periphery plates) 就是具有一个边框, 以便增加两个磨片之间纸浆的停留时间。

二段磨浆机的磨片 (图 5-23) 通常其破碎齿纹区较短, 磨浆面所占比例较大。破碎齿纹必须成直线并将离心力给予部分磨好的浆料。磨浆机磨片的金属材料各不相同, 从低价的镍淬硬钢到昂贵的含金钢与不锈钢。

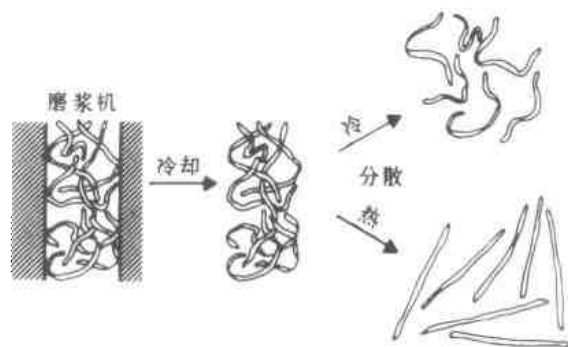


图 5-21 热消潜与冷消潜的效应

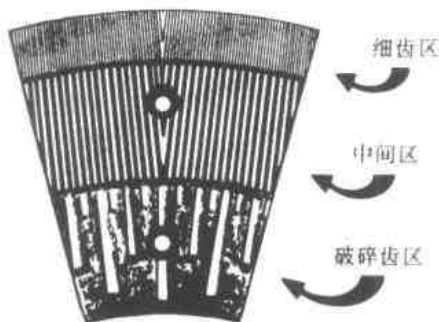


图 5-22 一段磨所用的代表性磨盘片 (Sprout Bauer 公司)

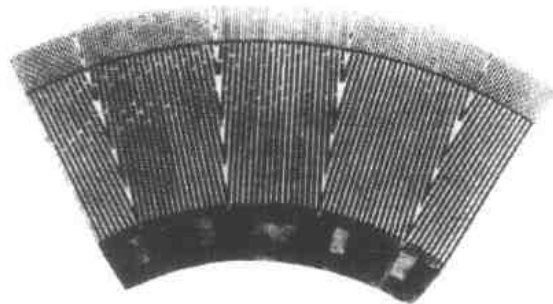


图 5-23 二段磨所用的代表性磨盘片 (Sunds Defibrator 公司)

木片磨浆的控制

各种影响木片磨浆的变数综合如表 5-5 所示。各种条件都可成功地使用,显示磨浆过程对大范围的波动很宽容。磨浆浓度通常为 18%~30%。

表 5-5 影响木片磨浆的变数

原料	磨片技术性能	操作因素
<ul style="list-style-type: none"> • 材种 • 总体木片质量 • 水分 • 不混入外来杂物 	<ul style="list-style-type: none"> • 结构材质 • 齿纹 • 坡度 • 封闭或开放的周边 • 盘径 	<ul style="list-style-type: none"> • 入口压力 • 入口温度 • 浓度 • 所加负载(磨片间隙) • 化学品助剂 • 进料量 • 磨片更换周期 • 磨盘转速 • 磨浆机出料背压

为了保持稳定的运行,很重要的一点是在磨浆区产生的蒸汽要通畅地排放。与排汽不畅有关的“反喷”,造成木片流中断和相应的负载波动。蒸汽压力的形成已发现是受许多操作变数影响的,但通过降低温度和进料浓度很容易控制住。

木片质量是影响机械浆质量的重要因素。“新材”磨浆的质量要比干材好。树皮、尘埃和“蓝变”(即霉菌侵袭而生成的蓝色)都会带入纸浆中。不规则木片(特别是受压木的)会造成磨浆机进料和热渗透方面的问题。许多系统都实行木片洗涤以除去石块、金属和尘土,其主要目的是保护磨浆机磨片,并生产出更洁净的纸浆(参见 3.6 节)。

有些厂利用锯屑或木针作为 RMP 系统的原料。这些原料所制得浆的强度和白度一般较低,但其较低的成本抵消了质量方面的缺陷。

基本 RMP 工艺现在已经不多用了,因为用热和(或)化学作用改进的方法,可生产出质量更好的纸浆,而且有时还具有特殊的品质。新投产的装置实际上大多是结合应用改进的技术,老的 RMP 厂也同样进行了改造。虽然如此,RMP 的基本原理仍适用所有的盘磨制浆法。

5.4 热磨机械法制浆

热磨机械法制浆(TMP)是 RMP 的首次重要改进,现在仍广泛地使用于新闻纸和纸板用的高撕裂度纸浆。该工艺包括在磨浆前和磨浆时原料经过一段短时间的压力下汽蒸。汽蒸软化了木片,从而生产出比 RMP 有更多长纤维和更少纤维束的纸浆。这些较长的纤维获得了比 SGW 或 RMP 强度更好的纸浆,其相互对比示于表 5-6 中。

表 5-6 不同机械制浆工艺所制得纸浆的比较(W. B. West)

项目	SGW	RMP	TMP
能耗	5.0	6.1	7.0
耐破指数/(MJ/kg)	1.1	1.9	2.3
撕裂指数	4.1	7.5	9.0
松厚度/(cm ³ /g)	2.5	2.9	2.7
R-18 (Bauer McNett)	28	50	55
纤维束含量/%	3.0	2.0	0.5
白度/%	61.5	59	58.5

* 长纤维含量的相应测量值

在20世纪30年代就已知道加热软化可用以制取高强度机械浆,该技术应用纤维板产品的制造。但由于存在热黑(即因热的作用使纤维发黑)问题,阻碍了在造纸浆生产上的应用。后来在20世纪70年代前期,加热方法获得了改进,它软化木片以改善纤维解离,但又不使最终产品的颜色太深。主要缺点是为获取最佳纤维,能量需要增加了。但另一方面,较高的温度的TMP工艺允许回收大量的能量(见5.6节)。

从直觉上说,TMP与RMP比较,由于分离纤维所需的能量少,能耗量应该可节省一些。但实际上,TMP需要更多的能量,因为用于分离纤维的能量只占一个很小比例,能量主要是用在破碎初生壁和剥去 S_1 层而形成纤维上。

TMP的工艺变数与RMP相类似,但要特别注意控制好汽蒸和磨浆时的温度。图5-26和图5-27示出汽蒸和将木片送入磨浆机的两种装置。木片从预汽蒸木片仓按容积进入汽蒸器中,在木片仓中利用磨浆机回流的蒸汽,将木片加热到约90℃。在压力汽蒸器中的停留时间应使木片中心部分足以达到理想温度,但必须避免过长时间的汽蒸以减少热黑作用。重要的是在预汽蒸与汽蒸期间必须除去所有随木片进入的空气以防止隔热效应。

磨浆作业必须在温度低于140℃进行。超过140℃,由于木素受到强烈的软化作用,纤维很容易在低能耗下就分离开来(图5-28);而解离了的单个纤维被软化木素所覆盖,该覆盖层冷却后回复到玻璃化状态,成为已分离纤维进一步帚化的障碍。当木片在低温120~130℃磨浆时,木素在良好的纤维分离状态下充分软化,而现在碎裂可发生在次生纤维壁的外层,如图5-29和图5-30所示。TMP抄片的横截面示于图5-31。

5.5 化学改性机械法制浆

在磨浆之前木片用化学品处理以及(或)在磨浆期间配加化学品助剂,最先是研究用于降低能耗的,但它很快显示,虽然这样做可节约若干能耗,其主要作用却是改变了所制得纸浆的质量。压力汽蒸和磺化(即亚硫酸盐基团对木素分子的化学侵袭作用)两者均借减少木素中的内联氢键而软化了木材。但利用汽蒸软化(如TMP)是暂时性的,而磺化的软化效应却是永久性的,且对纤维性能有联带效应。

使用化学处理的新工艺发展很快,本书只能介绍其主要的工艺过程。读者想获得进一步的资料,可参看有关参考书⁽²⁾。

化学热磨机械法制浆(CTMP)

近几年来CTMP已逐渐成为TMP工艺的一种改进方法,增加了机械浆的产品范围。它在汽蒸阶段利用适度的预浸,以略微降低散射系数(即降低不透明度)为代价,改进了纸浆

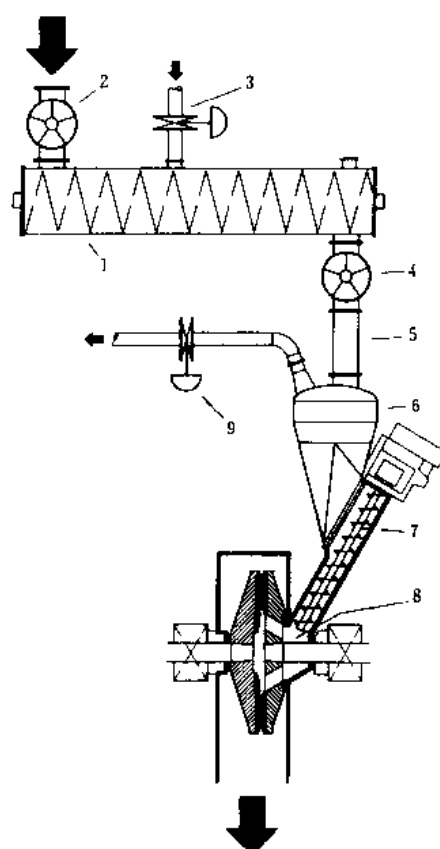


图 5-26 Sunds TMP 工艺的
汽蒸和给料系统

- 1—汽蒸器 2, 4—旋转阀 3—蒸汽入
5—短管 6—排汽罐 7—螺旋给料器
8—双盘磨 9—排汽

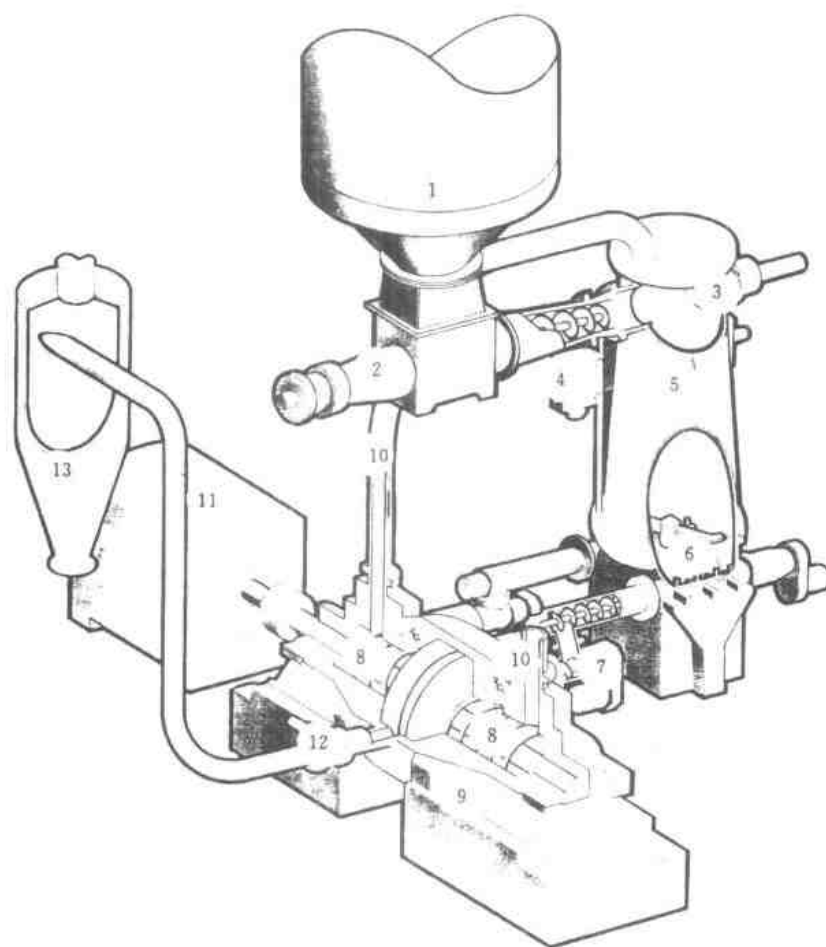


图 5-27 Sprout Bauer 工艺的汽蒸和给料系统

- 1—进料漏斗 2—料塞螺旋进料器 3—反吹阀 4—木片料位控制器 5—汽蒸管
6—木片出料 7—负载传感输送机 8—带式给料器 9—磨浆机 10—蒸汽平衡管
11—传动电机 12—喷放阀 13—旋风分离器

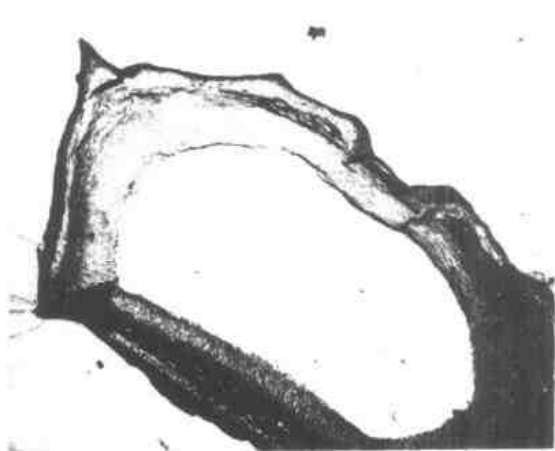


图 5-28 在木素玻璃化转折点以上的 175℃ 磨浆时云杉纤维的电子显微照相 (P. H. Norberg)



图 5-29 在 130℃ 磨浆时显示次生纤维壁的破坏的云杉纤维的电子显微照相 (P. H. Norberg)

的结合性能,并降低了碎片含量。结合已有的过氧化物漂白技术(见11.11节),CTMP工艺已以合理的成本制造出了高白度纸浆。

利用两段磨浆的商品漂白CTMP的完整流程图,示于图5-32。筛渣或则单独磨浆,或则随浆流送去二段磨浆机。软木的化学处理一般是用亚硫酸钠溶液,用量为干材的1%与5%之间。

在低化学品用量时,所制得纸浆可用作新闻纸的单独配浆。化学品处理的主要好处是改进了白度,强度有所提高,散射系数的损失则可忽略不计。在化学品用量稍高一些时,CTMP适于以高游离度纸浆作为多层纸板的中间层,此时它以比硫酸盐浆更低的成本,增加了纸板的松厚度和刚度。高磺化的CTMP也适用于制造薄页纸和绒毛浆。

硬木CTMP浆通常利用碱性亚硫酸盐预浸和低温热软化而制得。桉木和杨木CTMP浆主要是在那些对改进匀度和增大柔软度比对提高强度更为重要的纸种上找到了市场。

化学机械浆(CMP)

化学机械浆是利用相当激烈的化学品处理后,接着进行常压磨浆。根据蒸煮的激烈程度(指化学品用量、温度及停留时间),其得率一般在85%~90%范围内。这类纸浆在结合强度与纤维适应性方面有进一步改善,但散射系数损失较大。CMP浆一般用作抄新闻纸的骨干浆。

段间磺化

亚硫酸钠预处理不限于用到木片上,而且也可用于部分或全部纤维化了的纸浆上。因为纤维已经被分离开来,损失若干撕裂强度是无可挽回的。但另一方面,纤维分离后也提供了更大的磺化面积,使得制成的纸浆具有卓越的印刷性能。也许段间磺化的最大优点是湿纸幅的强度有显著改进,这是木片磺化所无法获得的。

作为段间磺化的另一个方案,也可考虑所有机械浆厂的筛渣在精磨前进行化学处理。这是改进磨木浆或TMP厂硬长纤维的柔软度和结合强度的一个简捷易行的方法。这项对筛渣进行磺化的改进方案与对全部纸浆进行处理相接近,但其附加的好处是化学品可得到更有效的利用以及大大减少散射系数的损失。

化学预浸

对CTMP和CMP而言,木片的有效化学预浸对制浆工艺的成功是必不可少的。在此阶段木片不含空气是特别重要的。排除空气最好与前面的常压预浸一起进行。化学预浸设备可有好几种形式,有些是最近设计的,代表性的设备有Sunds Defibrator Prex预浸装置(图5-33)和法国开发的bi-viz挤压机(图5-34)。在这两种装置中,首先将木片压缩,然后让其膨胀并吸收预浸液。目的是获得均一的预浸,不管其木片原始水分含量为多少。

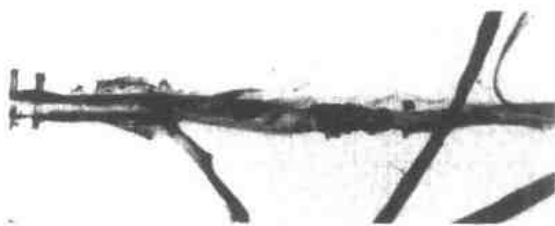


图5-30 TMP纤维(Mac Millan Bloedel, 公司)



图5-31 TMP抄片横截面的高度放大
(MacMillan Bloedel, 公司)

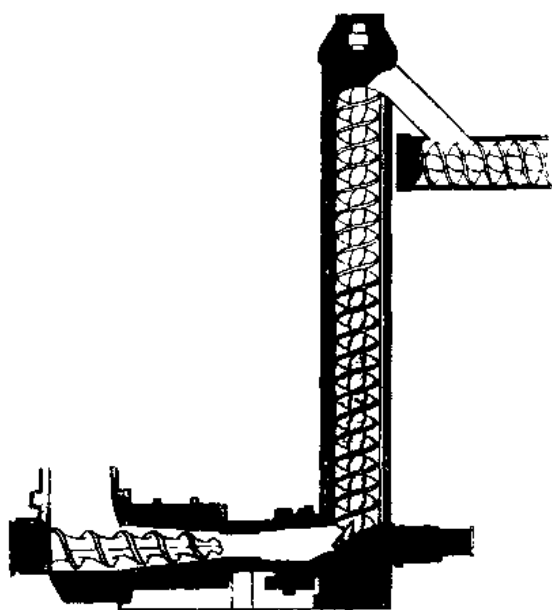


图 5-33 Prex 预浸装置 (Sunds Defibrator 公司)

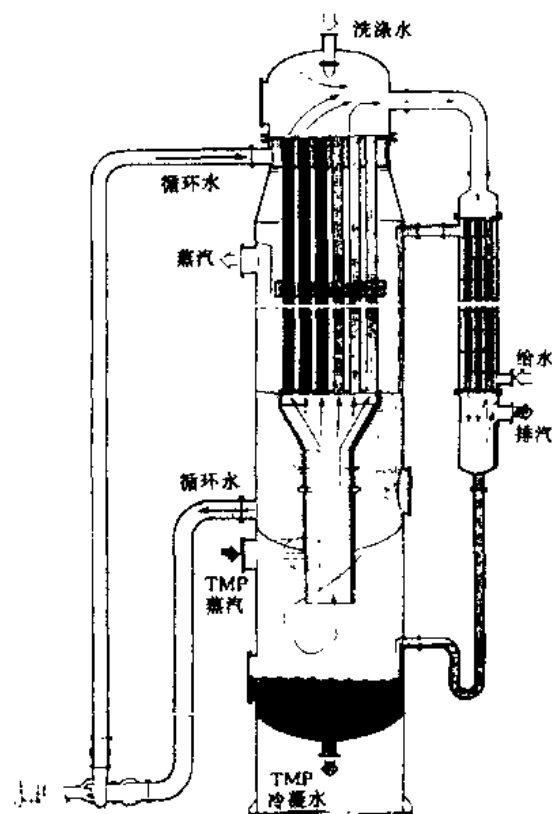


图 5-35 热回收再沸器 (Sprout Bauer 公司)

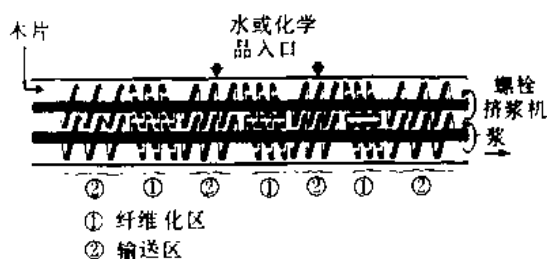


图 5-34 化学预浸用的 Bi-Viz 挤压机

5.6 热回收

TMP 和 CTMP 是生产机械浆方面的最为公认的方法。由于其相当高的强度和多功能性，这类纸浆具有使很多纸种减少化学浆用量的巨大潜力。但另一方面，这类工艺的耗能很大，这个缺点可能影响其长远的生存能力。已做的不少研究工作还无法成功地降低磨浆的能耗。所幸的是由于这类工艺的操作温度很高，可十分方便地回收大部分能量（直至 75%）以用于工厂的其他部门^[3]。

能量回收开始限于使被污染的磨浆机废汽与喷射器的水相混合而制成热水。但过去十年来，很多先进系统已经开发出了产生于净蒸汽的技术。为了增加可用废热的数量，二段磨也可以是带压的。

现代蒸汽回收系统的核心是再沸器 (re-boiler)，这是一种特殊结构的热交换器，它利用将排空废汽冷凝所得的热量生成新鲜蒸汽。图 5-35 示出利用管内侧污冷凝蒸汽和管外侧沸腾水降膜的一个代表性设计。一个典型的热量回收流程图示于 5-36。

在一个综合性浆纸厂内，对将回收蒸汽用于纸张干燥，往往很感兴趣。可惜的是，正常所产生的蒸汽压力相当低，因为开始从磨浆机来的蒸汽压力，对通过再沸器管子所需的压降来说显得偏低。该蒸汽需要增压到更高的压力（例如使用热泵或机械压缩机），而这可能会对利用蒸汽的经济性有负面影响。

最近在磨浆机运行方面的改革，已有可能从再沸器生产出较高压力的蒸汽。已经发现，磨浆机可以在比预汽蒸发器压力更高的压力下运行，而不影响纸浆的质量，因为木素在磨浆机中的短时间停留期，还不会产生玻璃化转折。可用进料螺旋或旋转阀作为密封装置对磨浆机与

预汽蒸器进行隔离。按这种模式运行的能量平衡显示, 原来 64% 的电能耗可被回收用作洁净的干燥蒸汽 (见图 5-37)。

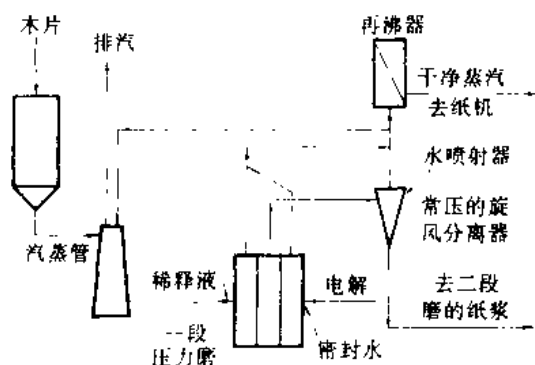


图 5-36 显示再沸器布置的压力磨浆机系统简图 (H. A. Simons)

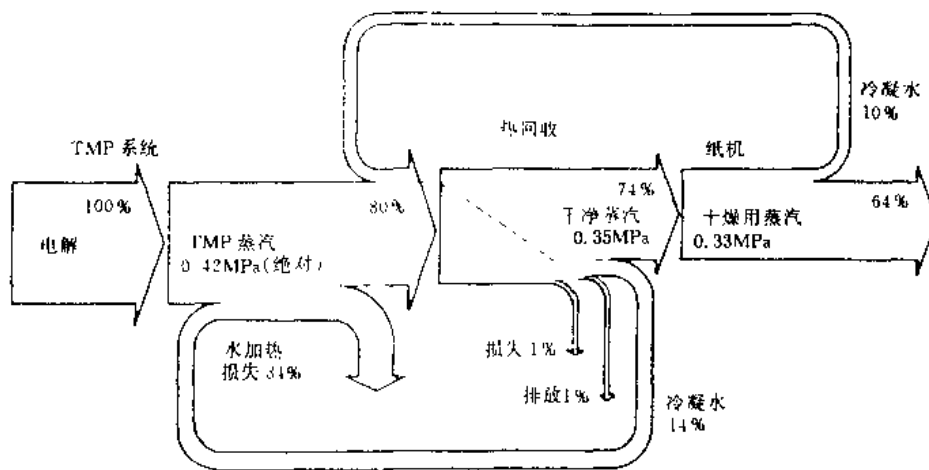


图 5-37 TMP 蒸汽回收对纸张干燥的能量系统

参 考 文 献

- (1) COOPER, W. And KURDIN, J. A. Acronyms for Mechanical Pulp: Understanding the Alphabet Soup *Pappt Journal* (December 1987)
- (2) LEASK, R. A. and KOCUREK, M. J. (Editors) **MECHANICAL Pulping** (Voume 2 of Pulp and Paper Manufacture Series) Joint Textbook Committee, 1987
- (3) CROPP, H. V. **Efficient Use of Recovered Energy is a Key Mechanical Pulping Goal** *Pulp & Paper* (April 1991)

第6章 亚硫酸盐制浆

6.1 简要发展史

亚硫酸盐法制浆的历史可追溯到1857年一位费城化学家 Benjamin Tilghman 的发现,即木材可用亚硫酸(H_2SO_3)加以软化和解离纤维。但他注意到亚硫酸单独作用时会使纸浆产生“焦化”或变色。稍后, Tilghman 进行了系统的研究并确定,阳离子盐基(如钙)的存在可防止变色作用。他在1867年被授予制浆方法的美国专利,第一批商业化亚硫酸盐浆是1871年在瑞典生产的。

亚硫酸盐法制浆的商业化发展极为迅速,1890年后的数十年间,亚硫酸钙盐法成为全世界最重要的制浆方法。20世纪30年代,硫酸盐法由于可能利用各类不适用于亚硫酸盐法制浆的木材,而开始占据优势。

直到1950年,亚硫酸盐法虽然采用了改进的设备和更好的运行和控制技术,但基本的化学原理和技术实际上并没有改变。1950年以来,采用钙以外的盐基已成为重要的发展方向。这些更易溶解的盐基即镁和铵,适合于低酸蒸煮条件并易适应多段工艺。适当选择蒸煮条件,它还可变为能处理不适宜于传统酸性亚硫酸钙法制浆的木材品种。这些新的制浆方法生产出具有多种性能的高得率纸浆。镁和钠盐基化学品的相当高的价格已促进了高效回收系统的发展,而这在今天对环境控制而言也是必不可少的(参看10.7节)。

钙盐基系统蒸煮化学品的回收,从来没有实行过。传统上,亚硫酸盐法废液都是简单地排入附近的水体。即使在蒸发和燃烧废液以回收热量的地方,想从主要是硫酸钙的炉灰中回收可用化学品也是不可行的。补充的化学品(石灰和硫磺)都是很普通的,价格低廉又易于取得。

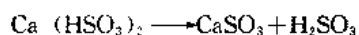
1980年和1990年美国与加拿大亚硫酸盐法浆厂所用的化学品盐基分类,如表6-1所示。我们可注意到,北美亚硫酸盐法浆厂在最近十年来已有明显减少。

表 6-1 美国与加拿大的亚硫酸盐法浆厂

制浆用盐基	美国		加拿大		总计	
	1980	1990	1980	1990	1980	1990
Ca	7	5	3	0	10	5
Mg	9	7	3	3	12	10
Na	1	1	25	15	29	16
NH_4	9	5	1	3	13	8
总计	29	18	30	21	64	39

6.2 术语的名称和定义

亚硫酸盐法酸液浓度和化学品用量的定义均基于这个事实,即一个亚硫酸氢钙分子在化学上相当于一个拥有亚硫酸(称为“游离酸”)和亚硫酸钙(“化合 SO_2 ”)的分子:



在蒸煮液中的总 $\text{SO}_2\%$ 由直接碘量滴定法确定。游离 $\text{SO}_2\%$ 由 NaOH 滴定法确定, 它实际根据上述反应测定出了所有的亚硫酸再加上一半的亚硫酸氢盐。化合 $\text{SO}_2\%$ 是根据两者差值计算出来的。从以上可以看出“真正的游离 SO_2 ”是游离 SO_2 减去化合 SO_2 (也等于总 SO_2 减去两倍的化合 SO_2)。考察表 6-2 中的数值将有助于弄清这个概念。

表 6-2 三个亚硫酸盐蒸煮液试样的虚拟分析 单位: g/100mL

SO_2 分析:	试样 A	试样 B	试样 C
游离 SO_2	5	7	3
化合 SO_2	5	3	7
总 SO_2	10	10	10
“真正的游离 SO_2 ”	0	4	0
蒸煮液组成 (按 SO_2)			
H_2SO_3	0	4	0
SO_3^{2-}	0	0	4
HSO_3^-	10	6	6

传统的酸性亚硫酸钙法蒸煮必须在低 pH (约 1.5) 下进行, 因为钙盐相当难溶。较高的 pH 在蒸煮时会造成结垢化合物的沉淀, 导致所谓的蒸煮器 (反应容器) “石灰化” 状况。通常 80% 以上的 SO_2 是以游离 SO_2 形式存在的。

使用可溶性盐 (镁、钠、铵) 允许在蒸煮液中有更大比例的化合 SO_2 。在所谓的酸性亚硫酸氢盐法制浆中, 在 1.5~4 范围内的任何 pH 都可借控制游离 SO_2 与化合 SO_2 之比而获得。真正的亚硫酸氢盐法制浆 (即指等量的游离 SO_2 与化合 SO_2), 是在 pH4.0~5.0 进行的。亚硫酸盐法蒸煮的全部范围, 还包括中性亚硫酸盐 (在第四章讨论) 和碱性亚硫酸盐, 它们还没有在工业上应用, 但有望作为两段亚硫酸盐法 (见 6.7 节) 或使用蒽醌 (见 7.6 节) 的组成部分。

必须遗憾地注意到。虽然作了不少努力 [见参考文献 (1)] 亚硫酸盐法制浆的术语仍不能完全做到标准化。例如, 术语酸性亚硫酸盐 (acid sulfite) 与亚硫酸氢盐 (bisulfite) 有时是可互换使用的。上面所述的 pH 水平也只是近似值, 因为在亚硫酸盐法蒸煮时的实际 pH 是随浓度而改变的。

6.3 工艺过程描述

亚硫酸盐法制浆系统的简要流程示于图 6-1。蒸煮液是通过燃烧硫磺生成 SO_2 气体, 然后在碱性溶液中吸收 SO_2 而制成。在老式钙盐法厂中, 将石灰石用于气体吸收塔, 石灰石作为填料以及钙化学品的来源生产出亚硫酸氢钙。在新式厂中, 任一种 NH_4OH 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 或 Na_2CO_3 形式的可溶性盐基被用以吸收 SO_2 ; 诸如马鞍形填料之类的情性填料 (图 6-2), 用来提供吸收塔中的接触面积。

吸收 SO_2 后的蒸煮原酸是游离 SO_2 与化合 SO_2 按希望搭配的一种混合物。在原酸用于制浆以前, 用蒸煮器排放的 SO_2 气体进行增浓 (见图 6-3)。这种增浓作用大多在低压和高压回收锅中进行。典型的原酸浓度和增浓的程度如下所示 [按质量分数 (%) 计]:

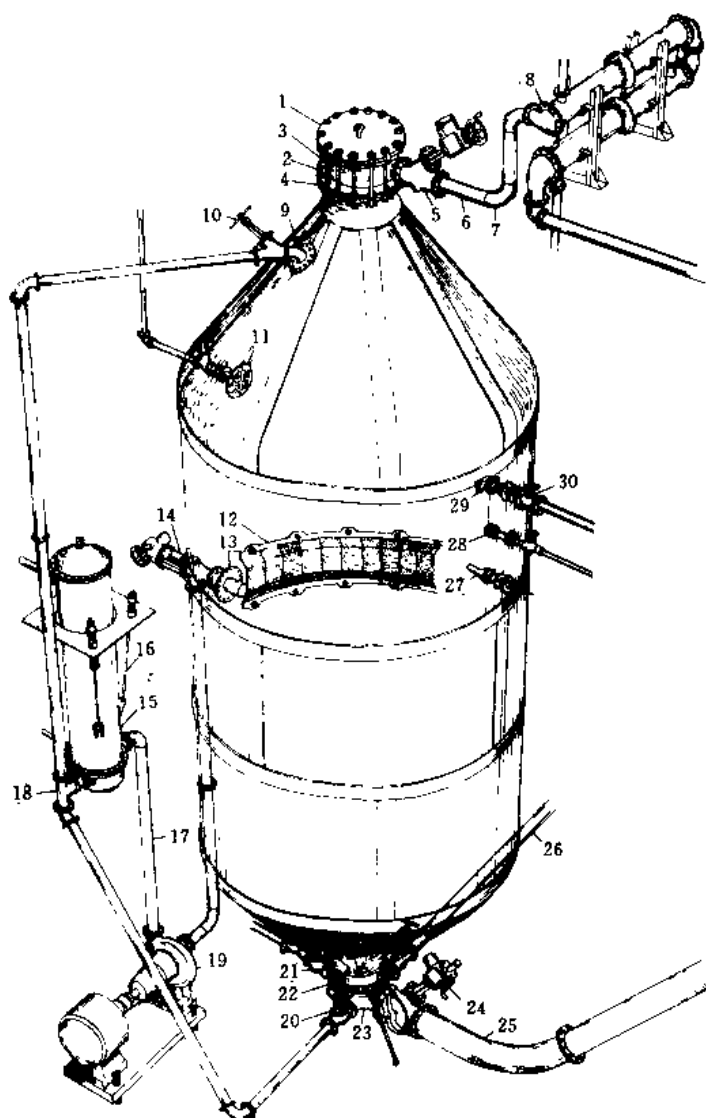


图 6-4 带辅助装置的间歇式蒸煮锅 (ESCO 公司)

- 1—铸铁锅盖 2—上部排气滤网及本体 3—活动螺栓和螺母 4—上部套环 5—电动 Y 形阀 6—放气管 7—模压对接管件 8—放气的冷却器 9—拱顶管接头 10—手动 Y 形阀 11—侧排气管件 12—滤网、支架、螺栓和螺母 13—管接头 14—电动角阀 15—间接加热器 16—加热器支架 17—循环管 18—铸造带法兰接头和法兰 19—循环泵 20—截止阀 21—截止阀 22—下部套环 23—喷放用管件 24—电动喷放阀 25—喷放管 26—酸液管 27—温度计套管 28—测压和取样管件 29—冲洗接头和管套 30—球阀

蒸煮作业一般都是在具有防腐层的钢或不锈钢压力容器（蒸煮锅）中间歇进行（见图 6-4）。蒸煮锅先用木片装锅并合上锅盖，然后从高压回收锅来的热酸液将蒸煮锅几乎装满。按照预定程序，使蒸煮液通过一台加热器进行强制循环，以加热蒸煮锅内的物料。使蒸煮锅顶部形成的“气袋”压力上升到预定水平，然后借排放 SO_2 气体（该气体在回收锅中被吸收）而进行调控。

随着温度和压力的增加，热酸液被木片迅速地吸收。在温度超过 110°C 以前化学反应还没

有任何有力势头,重要的是在这个阶段木材组织被化学品充分地“浸渍”。对酸性亚硫酸盐法蒸煮而言,为避免产生不希望有的木素缩合反应,缓慢的升温、较低的最高温度(130~140℃)、以及较长的总蒸煮时间(6~8h)都是很常见的。随着蒸煮液 pH 的增加(即为酸性亚硫酸氢盐蒸煮),可以较快速升温达到较高的最高温度和压力。典型的亚硫酸盐法蒸煮温度和压力的曲线示于图 6-5。

蒸煮的程度通常取决于所需脱除的木素量(见图 6-6)。送去漂白的纸浆,木素含量应低一些(用测定高锰酸钾价表示),但如果蒸煮得太过分,超过了最佳点,对纸浆强度、粘度(即聚合度)和得率将有不良影响。各锅的蒸煮终点主要是根据操作工的判断。但即使工厂操作控制得很好,亦会因木材水分和木材质量的波动而造成蒸煮时间的变化。蒸煮的进程是根据观察蒸煮液的颜色变化和根据残余 SO_2 的定期检测。

当蒸煮时间持续 1~1.5h 后,不再继续加热,锅压由于向回收锅排放气体和蒸汽而逐渐下降。当压力下降到约 0.14~0.18MPa 时,将锅内物料喷入喷放仓。气体则通过洗气器以回收 SO_2 。

在老式工厂中,喷放仓有一个滤板假底,以便排走“红液”。然后将水喷在浆料上并过滤除去残液。间断洗涤技术需要大量清水,因而很快被连续的更有效的现代方法(见 9.3 节)所取代。洗涤后,纸浆进行筛选和净化。这两项对生产高质量亚硫酸盐浆很重要的作业,也在第 9 章讨论。

6.4 亚硫酸盐法制浆的化学原理

在亚硫酸盐蒸煮期间所发生的主要反应大致表述如下:

- (1) 游离的亚硫酸与木素化合生成难溶的木素磺酸。
- (2) 在有盐基存在的情况下,形成易溶的木素磺酸盐。
- (3) 由于水解反应磺化,木素被裂解成更小更易溶解的分子碎片。
- (4) 半纤维素被水解成可溶性糖类。

所有上述反应都是希望发生的,除了半纤维素的水解造成半纤维素组分的损失而降低了得率以外。纤维素对亚硫酸盐药液的化学侵袭相对稳定,在蒸煮时纤维素与半纤维素之间得

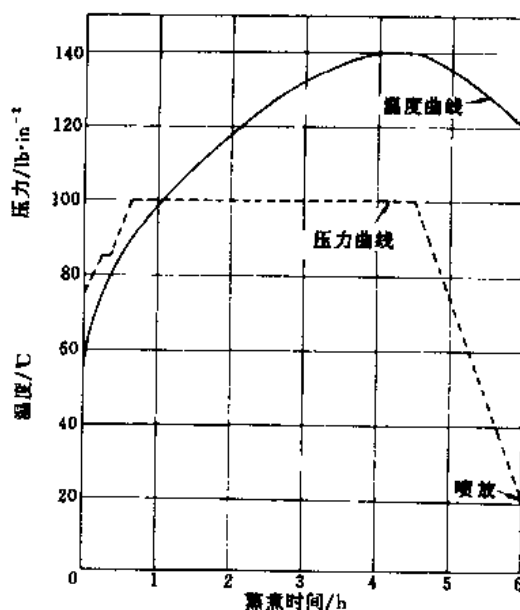


图 6-5 典型的亚硫酸盐法蒸煮曲线

注: $11\text{b/in}^2 = 6894.76\text{Pa}$

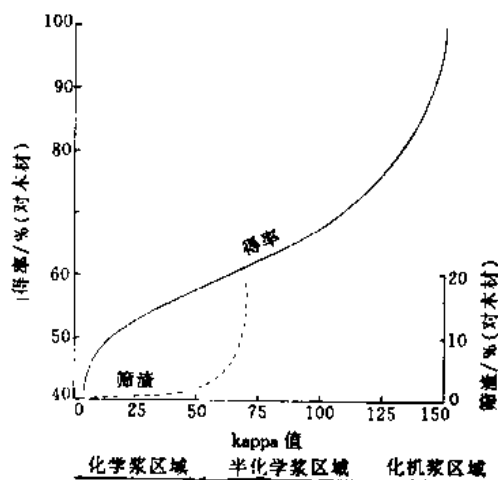


图 6-6 亚硫酸盐浆得率与筛渣跟 Kappa 值的关系

率损失的比较示于图 6-7。

容易脱除木素（与硫酸盐法工艺比较）的特点使亚硫酸盐法工艺很适合于生产富含半纤维素的纸浆，这对于抄造诸如防油纸和半透明纸这样的纸种是非常理想的。同时，长时间亚硫酸盐蒸煮（使用略高的温度和酸度）容易脱除半纤维素的特点，也使得有可能生产出含高纯纤维素的适合于溶解浆和特种不透明纸的浆粕。

木素的缩合作用是可在高酸浓和（或）高温下最不希望发生的反应。颜色发黑和不溶性化合物的形成可能产生所谓的“黑煮”。木素缩合往往发生在单独用亚硫酸作为制浆化学药剂时。在有盐基存在时，系统被缓冲，一般可阻止缩合的发生。但有时即使有盐基存在，由于 SO_2 渗入木材的速度更快，也可能会出现缩合现象，特别是对扩散较慢的二价盐基（钙和镁）更是如此。

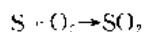
缩合反应也许在一价盐基（钠和铵）时较不容易发生，特别是在酸性亚硫酸氢盐和亚硫酸氢盐蒸煮的 pH 范围内时。由于此时浸透更快与酸液浓度更低，可以使用更快的升温时间与更高的温度，所以与酸性亚硫酸钙蒸煮比较，蒸煮时间可以大大缩短。

6.5 蒸煮液制备的化学原理

亚硫酸盐蒸煮液是游离亚硫酸 (H_2SO_3) 与呈亚硫酸氢盐离子 (HSO_3^-) 形式的化合亚硫酸的混合物。在保持目标强度及防止污染上，控制好制液操作对经济地生产高质量亚硫酸盐浆是不可或缺的。

SO_2 的制备

二氧化硫一般按下列反应，借在空气中燃烧熔融硫而获得：

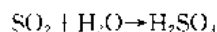


此放热反应借控制空气流量在约 10% 的过剩氧（目的是防止进一步氧化成 SO_3 ）而维持在很高温度（1100℃ 以上）。随后又将离炉的烟气迅速冷却越过有利于 SO_3 生成的温度（600~900℃），而防止其转化成 SO_3 。

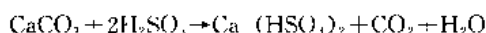
吸收系统的反应

已冷却的 SO_2 （在约 200℃）是在含盐基化学品的水溶液中被吸收的。其反应方程式如下：

（1）亚硫酸的形成：



（2）与石灰石形成亚硫酸氢钙：



上述总反应可以两个中间反应表示：

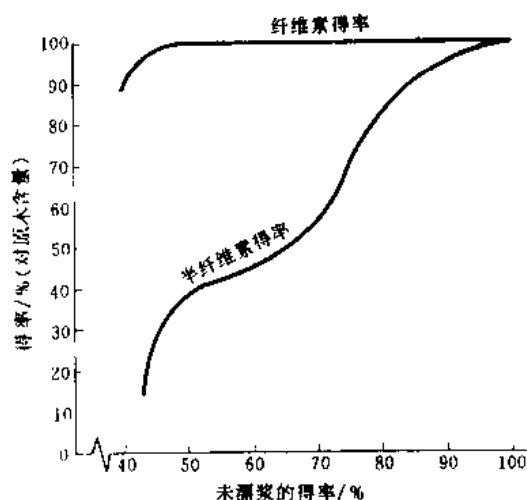
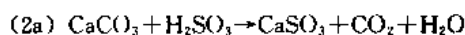
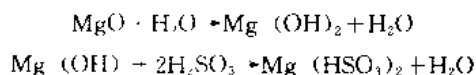


图 6-7 在云杉亚硫酸盐蒸煮期间
碳水化合物组分的得率

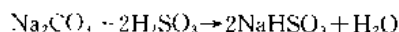
或 $[\text{化合 SO}_2] - [\text{游离 SO}_2] \rightarrow [\text{亚硫酸氢盐}]$

在各个反应中,亚硫酸盐(SO_3^{2-})作为中间物的形成很重要,因为它说明了游离 SO_2 与化合 SO_2 的概念,且在事实上决定实际反应塔的操作。例如,在制取亚硫酸氢镁药液中,通常逐渐地分段式地加入 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 以尽量减少 MgSO_3 的积聚。

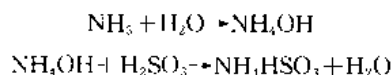
(3) 从氧化镁制取亚硫酸氢镁



(4) 从碳酸钠制取亚硫酸氢钠



(5) 从氨制取亚硫酸氢铵



由于常压下 SO_2 在水中的溶解度有限(例如,在 40°C 时约为 $5.3\% \text{SO}_2$),从吸收塔系统所制得的酸液必须在压力下进一步增浓。这项作业是在压力回收锅中进行的,在回收锅中还利用蒸煮放汽将蒸煮酸液加热。

6.6 蒸煮的操作和控制

传统亚硫酸盐蒸煮工艺的基本变数列于表 6-3 中。其中主要的反应“推动力”是 pH、游离 SO_2 浓度和温度。当 pH 的范围从酸性亚硫酸盐制浆的 $1.5 \sim 2.0$ 提高到亚硫酸氢盐制浆的 $4.0 \sim 5.0$ 时,可用提高温度的办法来维持反应速率。在用一价盐基(一般都是高 pH)时,温度可增加到 160°C 以上。

表 6-3 影响亚硫酸盐蒸煮的变数

木片	蒸煮酸液
<ul style="list-style-type: none"> • 材种 • 木片的一般性质量(规格分布、抵制杂物的混入等) • 水分含量 • “风干”程度 	<ul style="list-style-type: none"> • 盐基的选择 • 游离 SO_2 与化合 SO_2 之比
蒸煮控制	控制参数
<ul style="list-style-type: none"> • 化学品用量($\% \text{SO}_2$, 对绝干木材) • 液木比(酸液重/绝干木材重) • 温度周期 • 蒸煮时间 	<ul style="list-style-type: none"> • 脱木素程度(以高锰酸钾价或 Kappa 值表示) • 药液颜色 • 残余 SO_2 • 聚合度下降(以纸浆粘度测试值表示)

反应速率一定时,为获得所希望的蒸煮程度[通过测定得率或木素含量(高锰酸钾硬度测试)],必须对蒸煮时间进行控制。如反应速率放慢,就需要较长的蒸煮时间。而如果蒸煮器生产能力已到极限,则“慢煮”可能会对浆厂产量有不利影响。

在亚硫酸盐蒸煮中,间歇式蒸煮锅除顶部尚有空隙外,全部装满药液和木片。每个锅必须装入尽可能多的木片量,以保持浆厂的产量,并使蒸煮的变化减至最小;把木片装满也使所需的药液体积减少,并保证了最高的 SO_2 浓度。在装锅期间采取各种装锅方法以协助装满木片并使装入木片均一地分布(参见 8.1 节)。调节蒸煮酸的体积和浓度以保证蒸煮反应有足

够的活性化学品,并使蒸煮终点有一定的残余化学品(按干木材的 SO_2 %计)。如果因某种原因液木比太高了,活性化学品浓度就下降,蒸煮速率也下降。蒸煮酸补充蒸煮残液以达到正确的蒸煮液体积。

在达到最高温度以前,使蒸煮液很好地渗入木片是很重要的。有些厂在蒸煮初期利用蒸煮锅的液压(SO_2 所施加的压力上面)以缩短渗透期,在酸性亚硫酸钙蒸煮时这种渗透期长达 3h。

我们已做了大量工作,比较不同盐基对亚硫酸盐蒸煮速率、制浆经济效益和纸浆质量的影响⁽²⁾。在温度、pH 和 SO_2 浓度的条件相同时,发现蒸煮速率最快的是铵盐基,接着依次为镁、钠和钙(见图 6-8)。但使用铵盐基时 SO_2 耗量最高,未漂亚硫酸氢铵纸浆在白度上明显较低且更难漂白。影响亚硫酸盐蒸煮速率的主要因素归纳于表 6-4 中。

表 6-4 影响亚硫酸盐法制浆反应速率的因素

	慢速		快速
pH	高	→	低
SO_2 浓度	低	→	高
温度	低	→	高
盐基	Ca → Na → Mg → NH_4		

有些研究者指出,亚硫酸盐纸浆的强度性能与所用盐基无关,示于图 6-9。必须注意,这些研究数据仅适用于同一蒸煮酸成分(游离 SO_2 固定)。重要的是,可溶性盐基允许以更高的 pH 起反应,这当然使纸浆的强度更高些(见图 6-10 比较酸性亚硫酸盐法和亚硫酸氢盐法的纸浆强度)。

6.7 两段亚硫酸盐法制浆

随着镁和钠盐基的推广和应用,有几个使用这类盐基的两段亚硫酸盐制浆方法,已被研究出来并应用于生产。这类方法的特点通常是利用在最初阶段(渗透和磺化期)与第二阶段(木素溶出与脱除期)之间蒸煮 pH 的剧烈改变。在多数情况下,回收系统与制浆工艺很好地结合在一

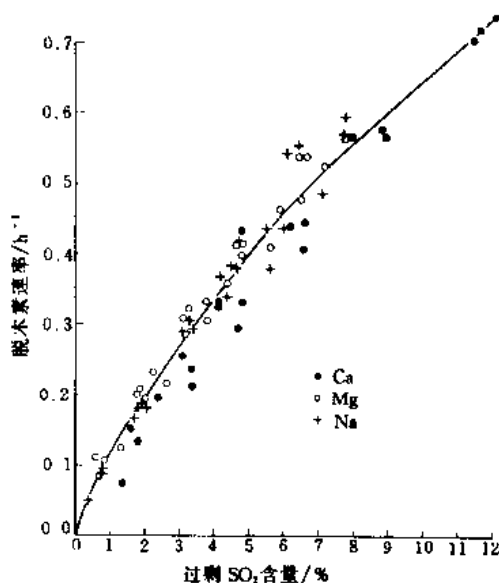


图 6-8 使用三种盐基的脱木素速率(90%脱木素的时间倒数)与过剩 SO_2 的关系 (Maass 等人的数据)

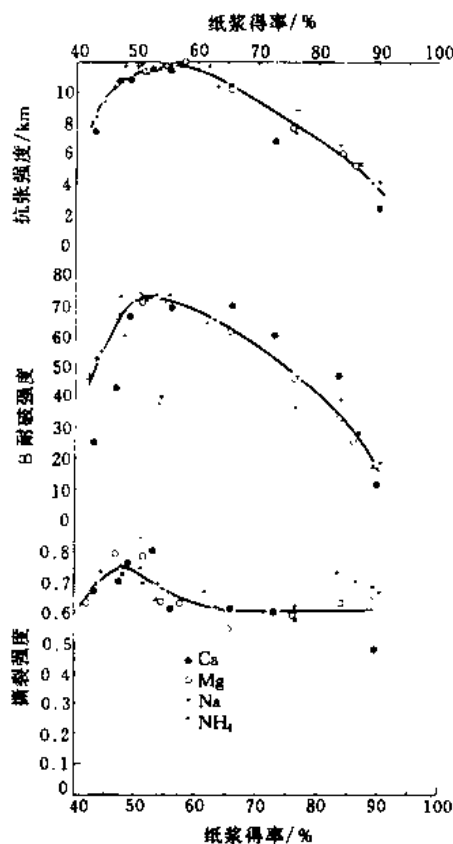


图 6-9 使用 4 种不同盐基,加拿大软木亚硫酸盐法制浆的纸浆强度性能与纸浆得率的关系

起。

最著名的几个两段工艺,列于表 6-5。这些一般来说要求时间较长并更为复杂的蒸煮工艺,其主要优点是:

表 6-5 两段亚硫酸盐法操作的 pH

	第一段	第二段
两段酸液法 (Mg)	5.5	1.5~2.0
两段镁法 (Mg)	3~4	6.0~6.5
Stora 法 (Na)	6	3~4
Sivola 法 (Na)	3~4	9~10

- 更彻底的脱木素作用 (易于漂白)
- 更好的保留半纤维素 (较高的得率)
- 对各种各样材种更为宽容。

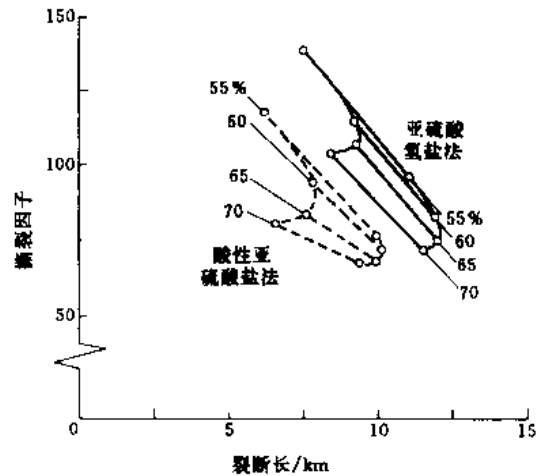


图 6-10 酸性亚硫酸盐法与亚硫酸盐法纸浆, 不经过打浆和打浆到 250CSF 左右的撕裂度与抗张强度的比较

6.8 亚硫酸盐法制浆的前景

从 1960 年至 1990 年这段时间,传统亚硫酸盐法在世界年木浆产量中所占的份额已从 20% 下降到 8%。面对这样一个统计数字,似乎没有理由为亚硫酸盐法的长远发展前景感到乐观。尽管如此,亚硫酸盐法仍有其支持者⁽¹⁾,有好几个公司为保持竞争力,已在最近明显地加强了对这方面新厂设备的投资。有的研究者还预测由于最近的工艺改革所出现的光明前景。

开发研究的努力集中于碱性亚硫酸盐法制浆。最近开发出的中、高度碱性亚硫酸盐法工艺,并引入蒽醌(AQ)作为制浆助剂(以改进反应动力学和增加纸浆得率)已是具有很大吸引力的工艺方法。许多在芬兰、澳大利亚和日本的工厂现在都在使用碱性亚硫酸盐—AQ 法工艺。但有些问题尚待解决,特别是在药液渗入木片方面。

在德国开发出的一项有希望的新亚硫酸盐制浆法称为 ASAM 法(使用蒽醌和甲醇的碱性亚硫酸盐法)⁽⁴⁾。该法似有许多优点(例如高纸浆得率、高强度、对材种不敏感、高未漂浆白度、易漂白等),这使它足可与硫酸盐法相抗衡。

参 考 文 献

- (1) TAPPI TIS 0607-25 (formerly TAPPI Standard T1201): Definition of Terms in the Sulfite Pulping Process
- (2) ERNEST, F. M. and HARMAN, S. M. Comparison of Several Bases in the Bisulfite Pulping Wood TAPPI 50: 12: 110—116 (December 1967)
- (3) HERQERT, H. L. Future of Sulfite Pulping is Tied to Integrated Mills, Marker Pulp Pulp & Paper (April 1982)
- (4) BLACK, N. P. ASAM Alkaline Sulfite Pulping Process Shows Potential for large-Scale Operation Tappi Journal (April 1991)

第7章 硫酸盐法制浆

7.1 发展简史

第一个被认可的化学制浆法——烧碱法是利用氢氧化钠的强碱溶液脱除木片中的木素。这个硫酸盐法工艺的前驱，最初是在1854年获得专利的。在以后1865年的专利中又包含了燃烧废碱液以回收绝大部分用于生产的烧碱。第一家成功的烧碱法厂是在1866年投产的。目前世界上仍有少数烧碱法浆厂在运行，从硬木和非纤维原料制取纸浆。

C. F. Dahl 对硫酸盐法的发展作出了贡献。他在致力于寻找烧碱法化学品循环中的补充物——高价格碳酸钠（纯碱）的代用品时，试验将硫酸钠（芒硝）加入到回收炉中。硫酸盐就在炉内化学还原成硫化物，硫化物从而进入到了药液系统。Dahl 随后发现，蒸煮液中的硫化物大大地加速了脱木素作用，并生产出了获得一种很强韧的纸浆，他在1884年获得了他所发明方法的专利。

1885年在瑞典，新制浆方法首次获得了商业应用。其卓越的强度性能获得公认，这种新生产的纸张被形象地称为“牛皮纸”（Kraft papers）。Kraft 在德文中是高强度的意思。此后，许多烧碱法厂都纷纷改为硫酸盐法，以便与亚硫酸法进行竞争。尽管亚硫酸盐浆比起烧碱法浆，强度更好些、更便宜和颜色更白些，但硫酸盐法缩小了在成本上的差距，并使产品更为强韧，只是在颜色方面要深得多。硫酸盐法要成功地与亚硫酸盐法竞争，必须要能经济地回收制浆化学品，而后者是不需要回收系统的。

20世纪30年代，随着 Tomlinson 回收炉的引入生产，极大地推动了硫酸盐法的优势地位的确立，该回收炉将废液的最终蒸发和燃烧跟热和化学品的回收结合在一个单一的生产装置中。最后，Howard Rapson 在20世纪40年代后期和50年代前期发展和推广起来的二氧化氯漂白，使硫酸盐浆可获得与亚硫酸盐浆相媲美的漂后白度水平。

7.2 硫酸盐法工艺的名称和术语

硫酸盐药液循环的简要流程示于图7-1。含活性蒸煮化学品氢氧化钠（ NaOH ）和硫化钠（ Na_2S ）的白液被用以蒸煮木片。含有木素溶解产物的残留黑液，在回收炉中浓缩和燃烧，以获取碳酸钠（ Na_2CO_3 ）和硫化钠的无机熔融物。熔融物被溶解成绿液，与生石灰（ CaO ）起作用而将 Na_2CO_3 转化成 NaOH ，获得再生的白液。化学上表述这些药液体的主要术语列于表7-1中。

大多数浆厂保持白液硫化度在25%~35%范围之内（按TTA）。硫化度的最低水平没有明确规定，可随其他的系统参数而变化。但大多数研究者认为硫化度低于15%时对蒸煮反应速度和纸浆质量有不良的影响。硫化度水平高一些，可提供

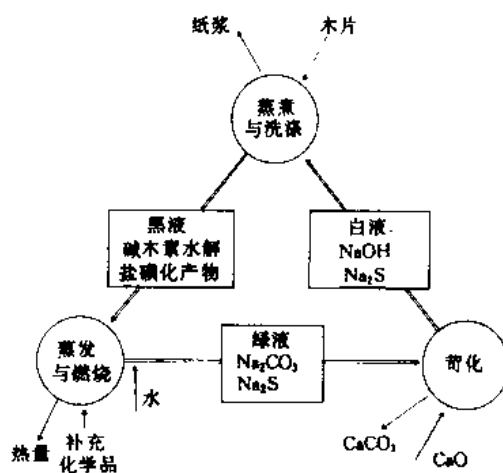


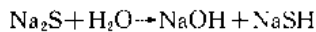
图 7-1 简要流程图

安全度并可使用更多的含硫廉价补充化学品(如 Na_2SO_4)。较高的硫化度也有助于避免在蒸煮时降低纤维素粘度。

表 7-1 硫酸盐法制浆术语的定义

术语	定义	单位
(1) 总碱	全部“有活力的”的碱性钠化合物, 即: $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{Na}_2\text{SO}_3$	$\text{g/L Na}_2\text{O}$
(2) 总滴定碱 (TTA)	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ 的总和	$\text{g/L Na}_2\text{O}$
(3) 活性碱 (AA)	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$ 的总和	$\text{g/L Na}_2\text{O}$
(4) 有效碱 (EA)	$\text{NaOH} + 1/2 \text{Na}_2\text{S}$ 的总和	$\text{g/L Na}_2\text{O}$
(5) 活化度	AA (活性碱) 与 TAA (总滴定碱) 之比	
(6) 苛化度	NaOH 与 $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ 之比	$\% \text{Na}_2\text{O}$
(7) 硫化度	Na_2S 与 AA (或 EA) 之比 注意: 在任何情况下都必须表明基本硫化度	$\% \text{Na}_2\text{O}$
(8) 苛化效率 (白液)	与苛化度同 (但绿液中 NaOH 的浓度应该扣掉, 这样 NaOH 的值仅代表苛化反应所生成的部分)	$\% \text{Na}_2\text{O}$
(9) 残碱 (黑液)	碱浓由酸液滴定测出。	$\text{g/L Na}_2\text{O}$
(10) 还原效率 (绿液)	Na_2S 与全部钠硫化物之比 (有时简化为 Na_2S 与 $\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ 之比)	$\% \text{Na}_2\text{O}$

硫酸盐蒸煮中, 是活性碱还是有效碱可提供更好的活性化学品浓度测定, 是有争议的。虽然 NaOH 和 Na_2S 两者都参与了蒸煮反应, 但 NaOH 显示出是最基本的推动力。因为 Na_2S 在溶液中发生水解:



因此只有一半的 Na_2S 在决定反应动力学上是真正有效的⁽¹⁾。

在硫化度控制良好的工厂中, 是用活性碱还是有效碱来测定化学品用量, 实际差别是很小的。但在硫化度波动范围很大的场合, 一个固定的活性碱与一个变动的有效碱相对应, 而且控制参数的选定取决于对它们相应特性的考虑。活性碱与有效碱的相互关系列示于图 7-2。

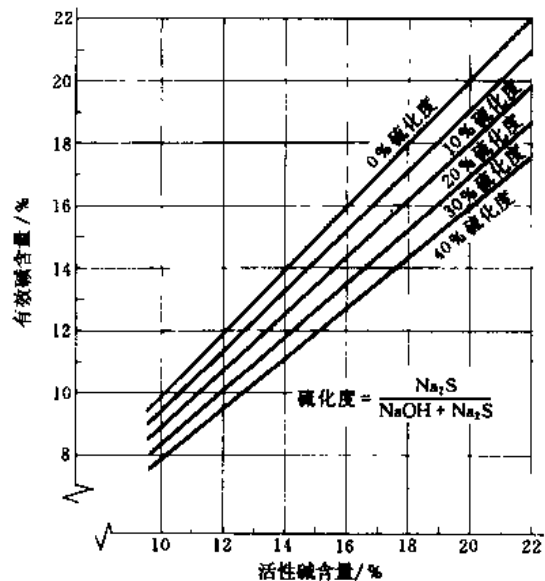


图 7-2 活性碱与有效碱的换算图

7.3 硫酸盐法工艺简介

硫酸盐法制浆和回收工艺的简要流程示于图 7-3。蒸煮后, 纸浆洗涤产生的废黑液经一系列处理与回收, 提取出化学品重新制成蒸煮液 (见第 10 章)。

蒸煮工艺可用间歇法或连续法。在间歇蒸煮中, 蒸煮容器装满木片并加入足够的药液盖过木片。然后根据预定的程序将内容物加热, 通常是使蒸煮液通过一个加热器进行强制循环。空气和其他不凝气则通过一个锅顶压力控制阀排出。一般是在 1.0~1.5h 后达到最高温度, 以

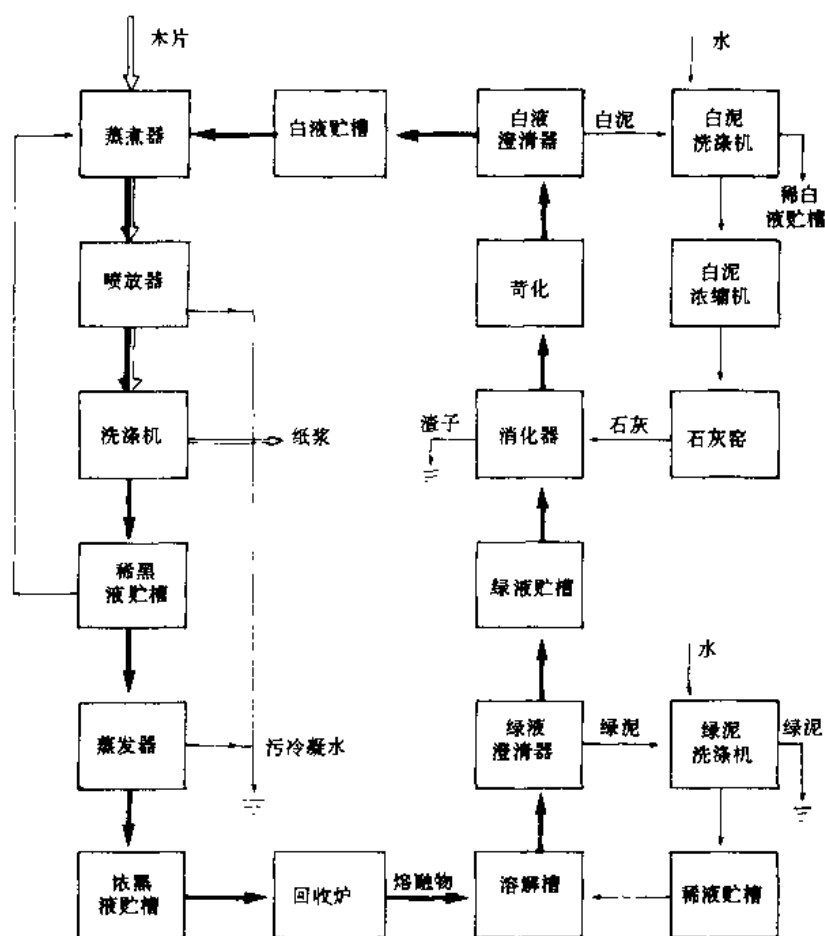


图 7-3 硫酸盐法工艺流程图

便使蒸煮液浸透木片。

然后在最高温度（一般为 170°C 左右）保温直至 2h，以完成蒸煮反应。在蒸煮以后，内容物被排入喷射锅，此时软化了的木片解离成纤维；排出的水蒸气在热交换器中冷凝，所得热水则用于纸浆洗涤（见 8.1 节）。

在连续蒸煮中，木片首先在汽蒸器进行汽蒸，排除空气和其他不凝气。预热了的木片和蒸煮液加入到连续蒸煮器，并移动经过一个中间温度区域（ $115\sim 120^{\circ}\text{C}$ ）以使化学品能均一地渗入木片。当木片移动通过蒸煮器时，借药液经加热器的强制循环或借直接通汽，将混合物加热到蒸煮温度，在此温度保持 $1\sim 1.5\text{h}$ 。随着蒸煮的完成，热废液被抽送到一个低压罐，在这里产生的闪急蒸汽可用于汽蒸器。纸浆通常用冷黑液骤冷到 100°C 以下，以防止纤维的降级（见 8.2 节）。

在精心控制的本色浆洗涤工序中，将蒸煮浆中的残留黑液分离出来。最常见的方法是用一系列逆流鼓式真空洗浆机，以最小的稀释度将黑液置换出来（见 9.3 节）。有些连续蒸煮器附有与废液提取和纸浆冷却相联结的扩散洗涤。洗涤以后，纸浆进行筛选和净化。这些作业对生产高质量硫酸盐浆非常重要，还将在第 9 章讨论。

化学品回收系统

从残余黑液中回收化学品和能量，并将回收的化学品再制成白液，都是与硫酸盐浆厂的

生产运行结合在一起的。从本色浆洗涤机来的稀黑液（约15%固形物），用下列工序进行处理：

- (1) 经一系列蒸发器增浓并加入化学品，形成70%~75%固形物的浓黑液。
- (2) 浓黑液在碱回收炉中燃烧，形成熔融物。
- (3) 熔融物在水中溶解，形成绿液。
- (4) 绿液用再烧石灰苛化，形成供下个蒸煮循环用的白液。

碱回收炉的一个重要作用是，将燃烧固形物中氧化的硫化合物，化学还原成硫化物。炉子运行的情况可通过测量还原效率加以监控。

控制绿液浓度（即TTA浓度）对在药液循环圈内的顺利运行是很重要的。绿液的目标浓度应在以下两个因素间进行平衡。较高浓度增加了烧碱贮存量，有助于稳定运行和提供对意外事故的缓冲能力。而较低浓度则提高苛化率，将确保在整个循环中非活性 Na_2CO_3 的“固定负载”（dead load）较低。

回收系统中的各个工序在第10章中有详细介绍。

7.4 硫酸盐法制浆的化学原理

Kleppe已归纳了硫酸盐法制浆化学原理的现有知识⁽²⁾。看来所发生的反应很复杂，且还没有完全弄清。总的说，木片中的润胀木素在蒸煮液中被氢氧离子（ OH^- ）和硫氢离子（ SH^- ）化学地裂解成碎片。然后木素碎片溶解成苯酚盐或碳氧化物离子。碳水化合物（主要是半纤维素和若干纤维素）也受到化学侵袭，并一定程度地被溶解。在一个典型的可漂浆蒸煮中，约有80%的木素、50%的半纤维素和10%的纤维素被溶解。

在合适条件下，木素碎片可能发生凝缩反应，或它们自身凝缩、或与未溶解木素凝缩、并可能与碳水化合物凝缩。凝缩木素更难与纤维分离。硫化氢离子据称是借封闭活性基团（如苯甲醇中的氢氧基）而减少了凝缩反应。

硫酸盐浆反应的两个“推动力”是碱浓（可借测定有效碱或活性碱得出）和温度。在正常温度范围内（155~175℃），每增加10℃，脱木素速度增加一倍多。

根据100℃相对反应速率常数为1，已经研究出一个将蒸煮时间和温度作为单一变数的一个方法⁽³⁾。以相对反应速率与蒸煮时间（h）的关系绘制成曲线，曲线下的面积即称为H—因子。H—因子的概念在蒸煮控制中应用很广，而在蒸煮期间温度变化时更为有用。一个典型的间歇蒸煮温度与时间的关系曲线示于图7-4，同时还示出相对反应速率与时间的关系曲线。

硫酸盐蒸煮在三个不同时期所进行的脱木素作用，示于图7-5。最初极快的脱木素速度，其特征可说是一个抽提过程。随后以大量脱木素作为主要反应。在大量脱木素阶段内，基本完成硫酸盐蒸煮，其木素的含量为4%~5%（对软木）和3%（对硬木）左右。如果蒸煮继续进行，残余木素还可降得更低。

跟木素反应同时进行的还有半纤维素和纤维素的反应。木材各主要成分的脱除跟脱木素的关系示于图7-6，图7-7是与总浆得率的关系。在蒸煮抽提阶段，半纤维素含量降低约40%，而木素含量降低则相应为20%。这些损失是由低分子量碳水化合物的溶解、酸性基的脱除、以及所谓“剥皮反应”的降解所造成的。纤维素的损失相对较低，为10%左右，原因是氢氧离子不易进入纤维素的结晶区。碳水化合物的酸性反应产物消耗了蒸煮液中的大部分烧碱，如图7-8所示。

在脱木素期间，粘度亦相应下降（测定纤维素加权平均分子量）。如果让纸浆粘度降到临

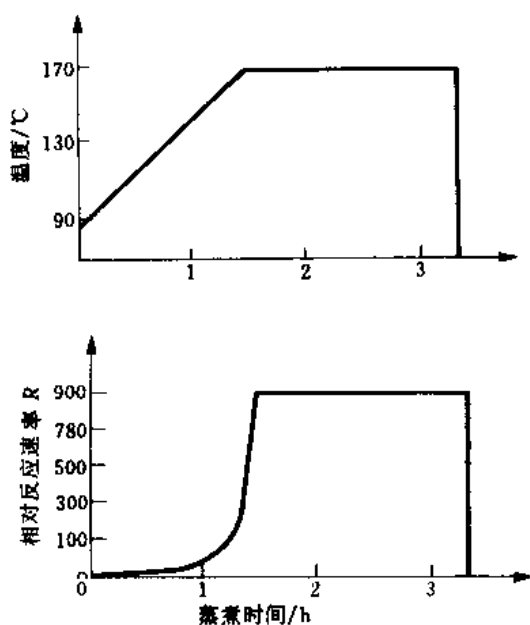


图 7-4 间歇蒸煮温度中相对反应速率与蒸煮时间的关系

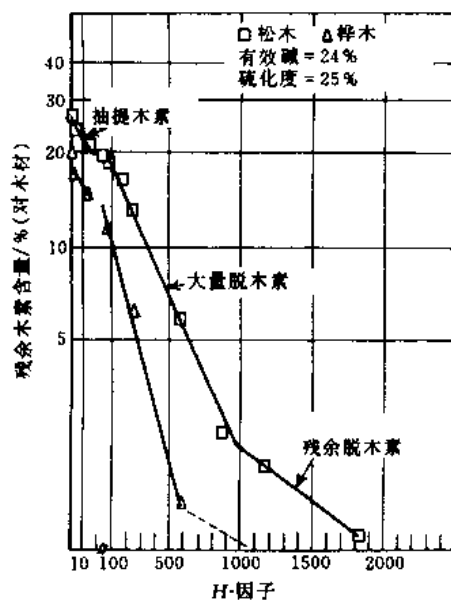


图 7-5 松木和桦木硫酸盐法制浆中，木素脱除与 H 因子的关系
(根据 Aurell 和 Hartler)

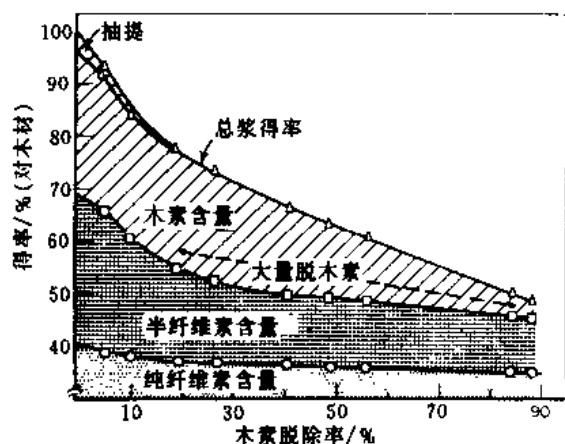


图 7-6 松木硫酸盐法制浆中不同脱木素阶段主要木材成分的得率
(根据 Aurell 和 Hartler 的数据)

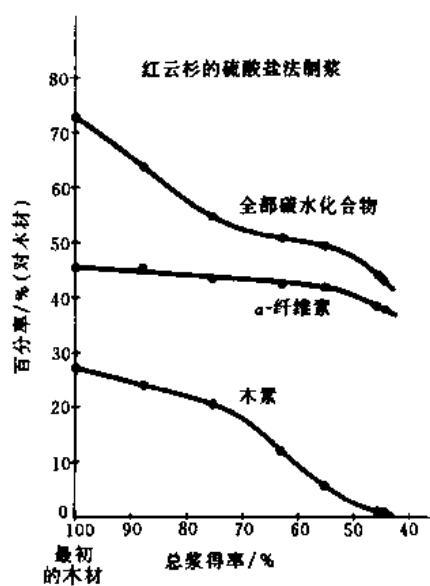


图 7-7 在硫酸盐法制浆中主要木材成分的脱除与浆得率的关系 (D. W. Clayton)

界值以下，则纸浆强度将急剧下降。硫酸盐蒸煮必须在纤维中尚留有相当量的残余木素时就终止下来，其主要原因就是保持了纸浆粘度。推导出来的 G —因子（与 H —因子非常相似）可应用于粘度下降，即时间与温度的综合使得相同 G —因子可有望生产出相同粘度的纸浆。因为随着温度的增加， G —因子比 H —因子增加得更快，由此得出，蒸煮温度愈高，相应粘度下降有更大的影响。这就是为什么要避免蒸煮温度超过 180°C 的主要原因。

木材中的抽提物大约有 90% 是在蒸煮的抽提阶段脱除的。脂肪酸和树脂酸形成钠盐，并随后从残液中作为塔罗油皂被除去。挥发性松节油则在汽蒸或蒸煮时从放压中回收。

溶解浆的预水解阶段

普通（造纸用）硫酸盐浆都含有一定量的碳水化合物（主要是多缩戊糖），这影响了纤维素用化学方法转化成粘胶纤维和醋酸纤维产品。因此，已研究出在碱煮前将木片进行水解处理，以降低聚戊糖含量，获得高比例的 α -纤维素。

通常预水解所用的方法是直接进行汽蒸。蒸汽的作用是析出木材中的有机酸，在高温下，使半纤维素水解成可溶性糖类。于是随后的硫酸盐蒸煮就生产出了适用于溶解浆的浆粕。通常，经预水解处理的蒸煮后浆粕，得率比普通硫酸盐蒸煮要低 5%~7%（对于干木材）。

一个典型的带预水解的硬木硫酸盐浆间歇蒸煮的蒸煮程序如图 7-9 所示。总蒸煮周期为 8h，包括了在最高水解温度保温的 140min 和在最高硫酸盐蒸煮温度保温的 70min 在内。

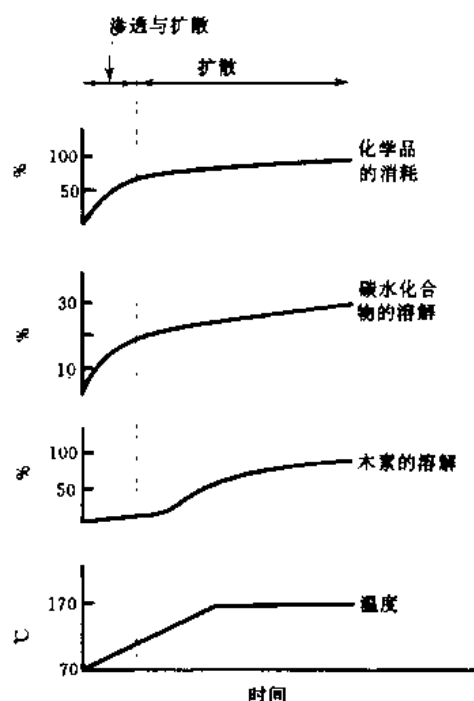


图 7-8 化学品消耗、碳水化合物溶解和木素溶解跟时间和温度的关系 (Hartler)

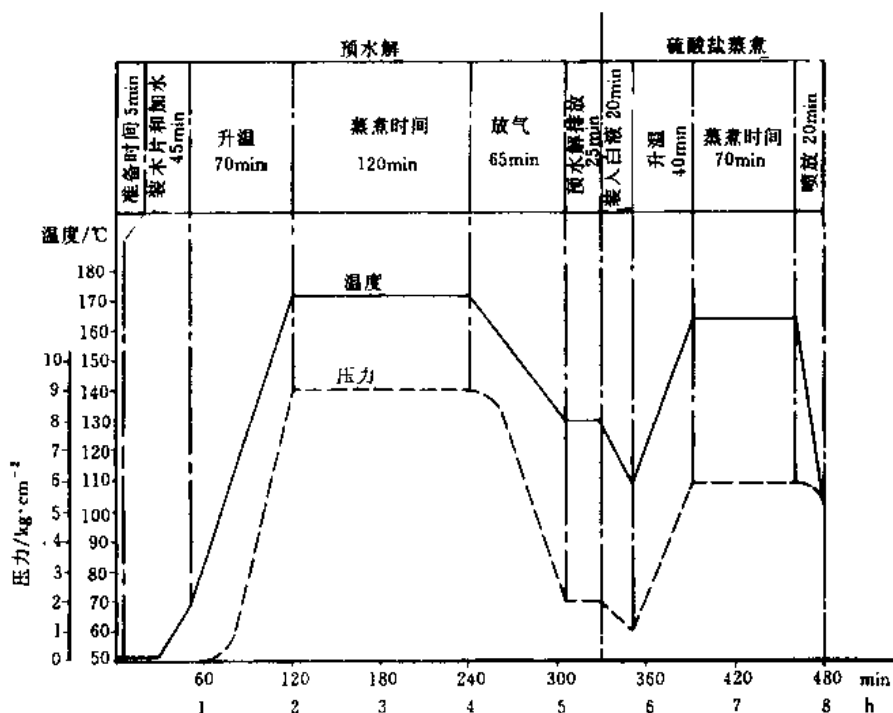


图 7-9 预水解硫酸盐法间歇蒸煮程序

注: $1\text{kg}/\text{cm}^2 \approx 0.1\text{MPa}$

7.5 操作与控制

影响硫酸盐蒸煮工艺的基本变数列示于表 7-2。其目的是为了均一地蒸煮到规定的木素含量（以高锰酸盐值或 Kappa 值表示）及最低水平的筛渣。

硫酸盐法蒸煮跟大多数化学制浆法一样，必须在较低温度时有充足的时间以便在主蒸煮反应开始前药液能很好的渗透到木片中。渗透的主要机理是沿着细胞腔（管胞和射线细胞）、纹孔、树脂道和硬木的导管作毛细管运动，并进入各个纵向裂口。次要的机理是借扩散作用穿过细胞壁。非润胀或低润胀液体在纵向（借毛细管运动）的渗透速度要比横向（借扩散作用）快 50~200 倍。但对如氢氧化钠那样的润胀性化学品，其差别小得多；根据某资料显示，纵向只大 6 倍。因而，木片厚度在硫酸盐药液的渗透上还是非常重要的。

不充分的渗透（或浸渍）降低了蒸煮脱木素程度，并增加了筛渣量。因为木片中的空气可以阻碍渗透，已发现在连续蒸煮系统中用汽蒸木片逐出空气是很有用的。温度提高也有助于改善药液的传递。

木片规格的影响

减少木片厚度多少有助于加快制浆速度，且使筛渣量有大幅度降低，如图 7-10 所示。使用“撕碎木片（Shredded Chip）”时有可能减少用碱量和略微提高碳水化合物的留得率。但撕碎木片在商业上应用还很少，因为从附加处理费用和能量需要来看并不很合算。

通常长度较小的木材碎片（即木针、木锯屑）所生产的浆得率低、强度差、并消耗较多量的碱，因在木片组分中所含的细小物质太多，将在间歇和连续蒸煮中使药液循环量减少，通常可行的办法是在专用容器中单独蒸煮这类物料（见 8.4 节）。

药液硫化度的作用

与烧碱法制浆比较，软木的硫酸盐法制浆更快并提供更高的得率和更强韧的纸浆。Na₂S 的作用在 15% 左右以下硫化度时都是十分明显的，而在更高硫化度时好处增加得并不多。

用碱量的作用

软木硫酸盐法制浆的正常耗碱量约 12%~14% 有效碱（对于木材）。而硬木一般为 8%~10%。在任何情况下必须提供足够的化学品，使蒸煮反应得以完成。在实践中，化学品往往略微多用一些，以保持反应推动力，并防止溶解了的物质（木素）再沉积到纤维上。

在工厂操作上的常见做法是用最低可行的碱量，变动蒸煮温度以获得所希望的反应速率。

表 7-2 影响硫酸盐蒸煮的变数

木片	<ul style="list-style-type: none"> • 材种 • 木片总质量 • 水分含量
蒸煮液	<ul style="list-style-type: none"> • 硫化度
蒸煮控制	<ul style="list-style-type: none"> • 化学品用量（对绝干木材的 AA 或 EA） • 液木比 • 温度周期 • 时间/温度曲线（H-因子）
控制参数	<ul style="list-style-type: none"> • 脱木素程度（以高锰酸盐值或 Kappa 值表示） • 残碱

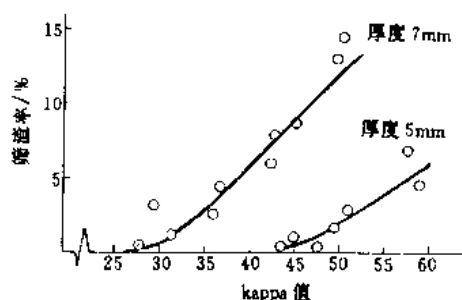


图 7-10 在 170℃ 蒸煮温度时，木片厚度和脱木素程度对筛渣量的影响（Hartler）

但也可用碱量来调节反应速率；图 7-11 示出在固定 Kappa 值下时增加有效碱对 H -因子的作用。但在一定 Kappa 值时，较高的用碱量也使半纤维素留得率略有下降（如图 7-12 所示），并改变留下来的半纤维素的组成。

生产未漂商品浆的硫酸盐法厂，一般使用较高的用碱量。这样做从上述对半纤维素留得率的影响来说可能是有矛盾的。但增加用碱量使得纸浆有稍高的白度和较低的筛渣，使工厂在相当高的 Kappa 值下控制好生产过程，从而生产出较高得率的纸浆。

最高蒸煮温度的作用

除了影响反应速率而外，选择最高温度在 180°C 以下时不会明显影响蒸煮的结果。高于 180°C ，由于对纤维素的侵袭作用，使强度和得率均有显著损失。

液木比的作用

为充分渗透，需要有足够容积的药液以保证所有木片的表面都被浸润。在间歇蒸煮中，蒸煮开始时一般送液到约 75% 容积。随着蒸煮的进行，木片中水分和木素进入液相而使木片物质下沉；于是液位就相对高出木片料位。

要有足够的白液以保证单位耗碱量。液体平衡上的需要，通常用补充黑液解决。液木比范围为 3~5。过分稀释的后果是降低活性化学品浓度，从而降低反应速率。

由于用黑液调节总液量的办法，在某种条件下可发生木素重新沉积到纤维上的现象，可能值得商榷。当然，这样做的主要理由是避免黑液不必要的稀释而增加蒸发负荷。也有证据表明，留在黑液中的硫化钠有效浓度对蒸煮是有利的。

为使间歇蒸煮锅保证最低的稀释度和最大的产量，必须实行有效的木片装锅方法。蒸煮锅要装满木片以减少装药液的空隙容积（参见 8.1 节）。

控制参数

如上所述，硫酸盐法制浆（及其他化学制浆法）中，进行控制的目的是为了蒸煮到规定的 Kappa 值。由于常用木片组分的不均匀性，会造成蒸煮结果有某种易变性。在 Kappa 值检验中这样的倾向就很明显，在 H -因子中的斜率变化（offsetting change）常用以使检验值能更接近于目标值。同样，有些浆厂从将到终点的蒸煮锅中取出蒸煮液试样并分析其残碱，以便能较早地获知蒸煮的结果。

在制定某种纸浆产品的目标 Kappa 值时，有许多因素可能是很重要的。例如，对纸浆最大强度的要求，或对碱回收炉负荷的限制，在某些厂中可能是带强制性的。如上所述，未漂

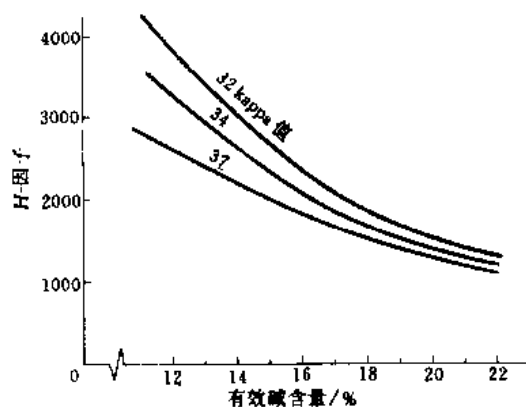


图 7-11 为获得一定 Kappa 值，所需的用碱量和 H -因子

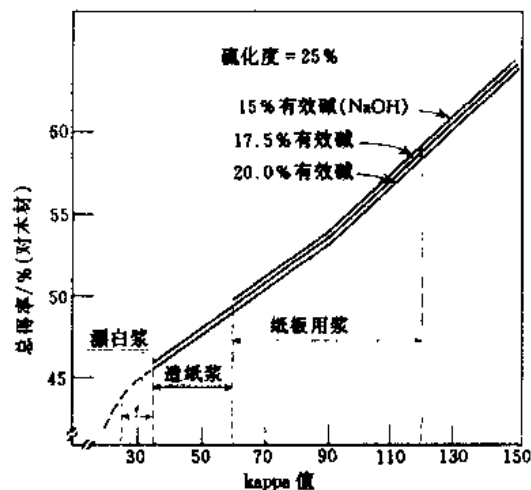


图 7-12 南方松硫酸盐法制浆中总得率与有效碱用量的关系 (Kleppe)

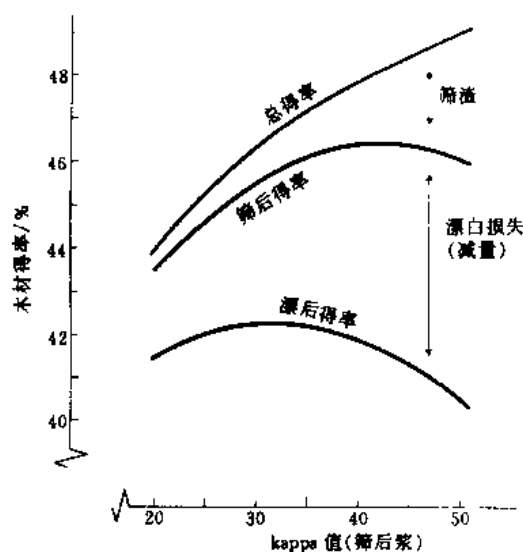


图 7-13 木材得率与 Kappa 值的关系。
显示在 28~34Kappa 值时的漂白得率最高

蒸煮助剂、木片预处理、和两段蒸煮。虽然进展缓慢，这类技术有不少现已崭露头角。

提高得率方面的改进

大多数早期的改进都是设法借克服“剥皮反应”稳定纤维素半纤维素聚合键末端基，而增加碳水化合物的留得率。这种剥皮反应使末端基一次溶解一个，并消耗了一定量的蒸煮化学品。20 世纪 70 年代以前有两个添加剂 (add-on) 技术，即多硫化物法（有一定程度的商业应用）和 H_2S 预处理法（在中试规模获得证实）。这两个方法成功地使纸浆得率提高 7% 以下（对于木材）。遗憾的是，这两个方法都增加化学品循环圈中硫的浓度，它加重了臭味问题。此外，这两个方法还都需要有化学品制备系统，使浆厂的投资和操作费用增加。

最近研制的具有更大前途的方法是使用蒽醌(AQ)作为硫酸盐法或烧碱法蒸煮的助剂⁽⁴⁾。由于这种白色粉末状的有机化合物实际上不溶于水，它一般作为分散剂供应。它溶解在硫酸盐蒸煮的还原碱中。加入少量 AQ（约 4.5kg/t 浆）可加快硫酸盐制浆的反应速度，提高得率 2%~3%（对于木材）、以及降低有效碱需要量。在烧碱法蒸煮中加入 AQ，有可能获得硫酸盐法那样的制浆得率、蒸煮速率和纸浆强度。

尽管报道了蒽醌在催化加速方面的好处，但目前 AQ 的价格（1991 年约为 4.5 美元/磅）妨碍了它的普及应用，除非在某个特定状况下。在木材价格较高的地区，如日本，提高制浆得率显得很重要，蒽醌类制浆法就比较普遍。即使如此，在 1991 年全世界已有 100 多家浆厂使用了 AQ 或 AQ 型助剂。至少有一个厂是将蒽醌与多硫化物共用⁽⁵⁾。更多的厂肯定是助剂价格降低时才使用该技术的。化学品制造商为了降低蒽醌催化剂的价格，采取了许多措施，包括基于木素转化的一个方法⁽⁶⁾。从合成制造和应用两方面探索 AQ 助剂的全部内涵，将足以使研究者在未来忙碌许多年。

深度脱木素作用 (Extended Delignification)

为了控制漂白化学品成本，生产漂白浆时必须在蒸煮期间尽可能多地脱除木材原料中的木素，从而使得漂白时所需脱除的残余木素量降至最低。最近，注意力集中于从漂白工段排出的氯化有机物，在传统漂白以前更彻底地脱除木素，就显得更为重要。（参见第 11 章）。

浆的主要目标是获得最高的总浆得率。同样，对漂白浆来说，最佳 Kappa 值通常要与漂白浆的最高得率相呼应。图 7-13 示出了软木硫酸盐浆 Kappa 值的最佳范围是如何确定的。在较低 Kappa 值时（即低于最佳值），未漂浆筛后得率降低，因而使漂后得率受负面影响。在较高 Kappa 值时，筛后浆得率的增加值超出了漂白时减量的抵消值（即得率的损失）。

7.6 工艺过程的改进

硫酸盐法由于具有明显的优点，已成为世界上占主导地位的制浆方法。尽管如此，该法也存在某些严重的缺点，主要是制浆得率低、漂白浆中含有较高的残余木素、以及还原硫化物所产生的难闻臭味。近几年来，已经建议了各种改进的制浆方法，来克服一个以上的这类缺陷，包括

深度脱木素的概念是20世纪80年代早期在瑞典提出的。即发现在整个蒸煮期间的活性碱含量水平保持均衡以及在蒸煮末期的溶解木素的含量较低时,软木蒸煮的Kappa值可从传统水平的30~32降低到约25,而对纸浆质量并无影响。这个概念现在已成功地应用在间歇和连续蒸煮系统中,虽然在设备上需作较大改造(系统细节参见第8章)。

氧脱木素是在传统漂白前减少纸浆中木素含量的另一个方法。该技术(它始于20世纪60年代)在瑞典和日本已成为漂白浆制造系统的一个常见组成部分,而最近在北美获得了应用。虽然在技术上是各自独立的,但由于氧脱木素的含碱废液可加入到黑液中并一起送去碱回收炉处理,因此,它与硫酸盐蒸煮工艺有共同性(参见第11章第4节)。

参 考 文 献

- (1) HINRICHS, D. D. **The effect of Kraft Pulping Variables on Delignification** *TAPPI* 50: 4: 173-175 (April 1967)
- (2) KLEPPE, P. J. **Kraft Pulping** (Feature Review) *TAPPI* 53: 1: 35-47 (January 1970)
- (3) VROOM, K. E. **The H-Factor: The Means of Expressing Cooking Times and Temperatures as a Single Variable** *P & P Mag Can* 58: 3: 228-231 (Convention 1957)
- (4) HOLTON, H. **Soda Additive Softwood Pulping: A Major New Process** *P & P Can* 78: 10: 19-24 (October 1957)
- (5) LIGHTFOOT, W. E. **New Catalyst Improves Polysulfide Liquor Makeup, O₂ Delignification** *Pulp & Paper* (January 1990)
- (6) DIMMEL, D. R. and BOZELL, J. J. **Pulping Catalysts From Lignin** *Tappi Journal* (May 1991)

第8章 蒸煮设备

本章主要叙述碱法制浆设备，但其所讨论的原理可应用于所有的化学制浆法。

新浆厂设计或老厂扩建的目的是在满足环境的要求下，以最低的成本生产出优质纸浆。优质纸浆可用间歇法或连续法设备生产，其选择依据取决于对所有相关因素的考虑。由于蒸煮与全厂运行的关系密切，不可能将所有蒸煮设备的作用概括出正确的走向。

当连续蒸煮器在 20 世纪 50 年代晚期和 60 年代早期开始运行时，曾期望有很多优点。在这里，希望降低能耗和减少污染，通常认为是有作用的，但对高得率、高强度和改进均一性的期望却没有被工厂的实践经验所证实。起初连续蒸煮器运作可能在人力上有所节省，但现在新的全自动化和计算机控制的间歇蒸煮锅每班只要一人操作就够了。

与连续蒸煮器相关的附属设备比传统间歇蒸煮锅所需要的更为复杂。一条制浆生产线通常是采用一个单一连续蒸煮器或几个间歇蒸煮锅。如果一台蒸煮锅由于某种原因停下来，生产量只是有所削减；但如果一台连续蒸煮器停下来，整个生产就中断了。因此，从生产利用率来说，总的对间歇蒸煮锅是有利的。而且当木材配比或蒸煮的脱木素程度经常需要变动时，间歇蒸煮锅也显得更为灵活。间歇蒸煮锅开停机通常是比较容易的。

连续蒸煮器的汽耗，由于其废液产生的低压闪急蒸汽可再用于对木片的预热和预处理，所以要比间歇蒸煮锅低得多。连续蒸煮器所用蒸汽量也更为稳定，虽然间歇蒸煮锅的用汽量变动可借计算机控制而减少。动力锅炉的规格负荷，受平均用汽量和高峰用汽量两者的影响。

间歇和连续蒸煮器的相关优点归纳在表 8-1 中。

表 8-1 间歇与连续蒸煮器的优点比较

有利于连续蒸煮器的因素
1. 蒸汽耗量低（低能耗）
2. 用汽量稳定
3. 布置更紧凑，节省场地
4. 由于负荷稳定，辅助设施的能力可小些（如木片输送机、热回收系统）
5. 由于汽流稳定，易于处理不凝气
6. 包含扩散洗涤段（只限于 Kamyr）
7. 可适合于所有木材分类的蒸煮
有利于间歇蒸煮器的因素
1. 运行更可靠
2. 操作上有更大灵活性
• 变换浆种的可能性
• 同时蒸煮软木和硬木的可能性
• 容易开停机
3. 松节油回收更有效

8.1 间歇蒸煮器

过去很多年来，已有好几种型式的压力容器用作间歇蒸煮，包括固定水平式和球形结构以及回转立式蒸煮器。这些结构型式已基本上被固定立式装置所取代（见图 6-3 所示）。本文中只讨论常见的立式蒸煮锅，但其原理适用于所有间歇蒸煮装置。

现代浆厂大都配有 200~265m³ 的蒸煮锅。每锅可最多生产 19t 浆。规格愈大产量就愈高，但随着规格的增大，壁厚必须增加。最终，单位规格的制造和安装费用处于实际的上限。通常，硫酸盐法蒸煮锅由碳钢制成。用于预水解蒸煮的必须衬以不锈钢衬里。亚硫酸盐法蒸煮锅一般贴衬耐酸砖。

经过筛选的木片送入(通常用输送皮带)蒸煮锅顶部。然后按规定碱木比和液木比所需的白液和黑液量分别经计量同时送入锅内。通常用某种木片装锅法以获得最大的装锅量。用木片蒸汽装锅器(如图8-1和8-2所示)时有可能比自然装锅增加20%以上的装锅量。在装锅时送液和药液循环是另一种装锅法。在锅底部进行直接通汽以振摇木片层也可达到紧密装锅的目的。后两种方法可增加5%~10%的装锅量。

当蒸煮锅装完木片和药液后,就盖上锅盖。现在大多数间歇式蒸煮锅都配有自动锅盖装置,其中最普遍的是遥控球阀(见图8-3)。

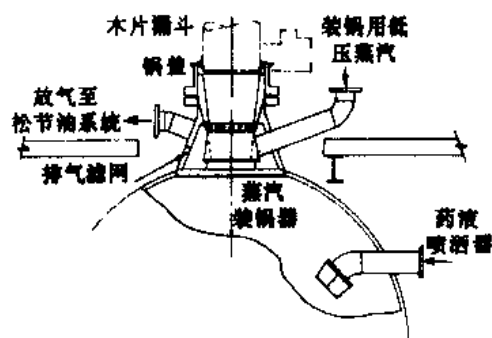


图 8-1 Rader 式蒸汽装锅器装置

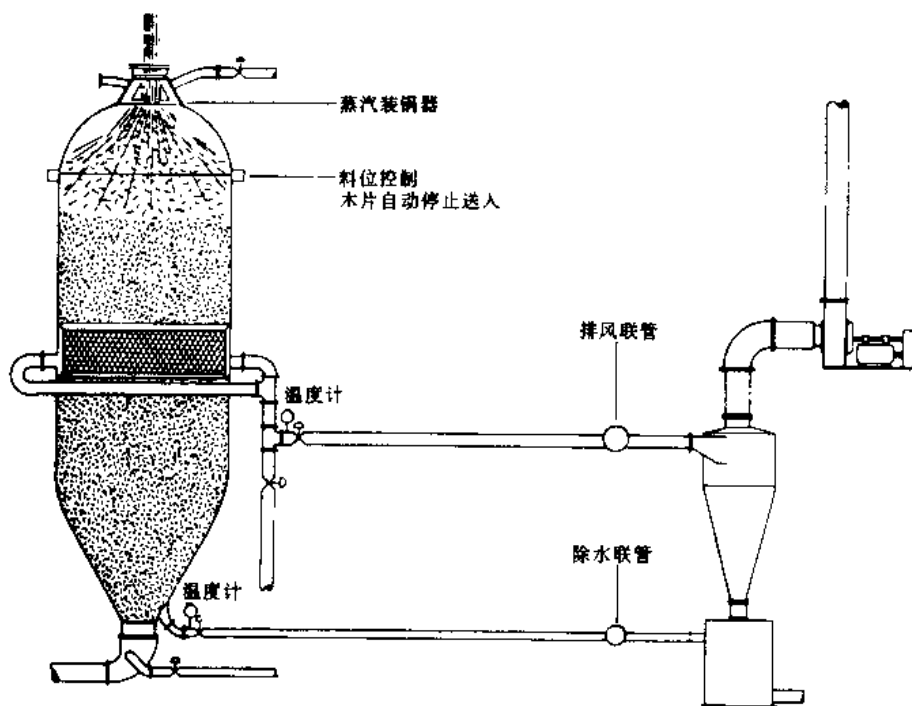


图 8-2 在蒸汽装锅时,排风系统经循环滤网从锅内抽出空气和其他气体 (Rader)

现代间歇式蒸煮锅都有循环系统,并带一个锅外药液加热器以将锅内物料加热到制浆温度。有些老厂仍然使用以对流方式混合的直接通汽,如图8-4所示。用哪种方法都可获得很好效果,但强制循环避免了药液稀释,从而在蒸煮期间保持了较高的碱浓和免除了给蒸煮器增加额外负荷。常用的循环系统设计从靠近锅中部的环形漏网抽出药液(参看图8-5和图8-6),将其泵经加热器,加热后药液分流至锅的底部和顶部。循环泵的设计能力一般是每10min左右将锅内药液循环一次。

装料后蒸煮锅按预定速率升至最高温度(传统上用钟表驱动型凸轮控制)。然后保温至达到所需的 H -因子。到终点时锅底部的遥控喷放阀将锅内物料全压喷放入喷放锅。当蒸煮后木片物质碰撞到喷放锅的切线入口时,木片就被解离成纤维。喷放锅内部的阻流板和汽化空

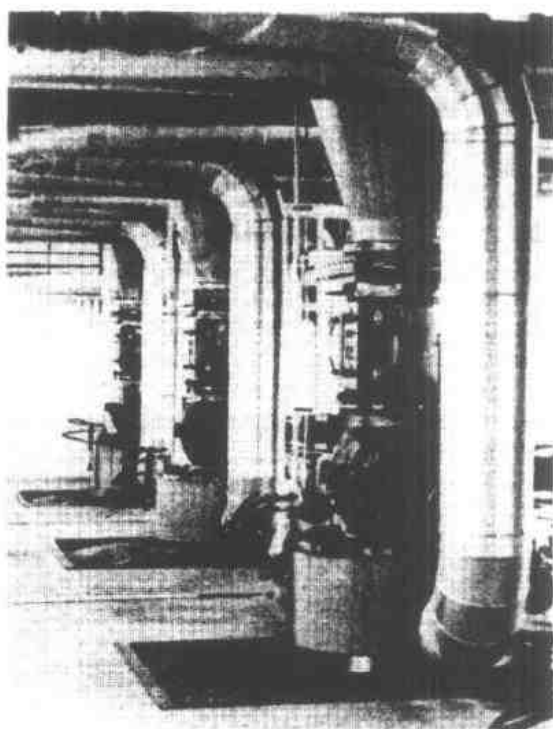


图 8-3 从蒸煮操作楼层的图片上
可看到自动锅盖球阀

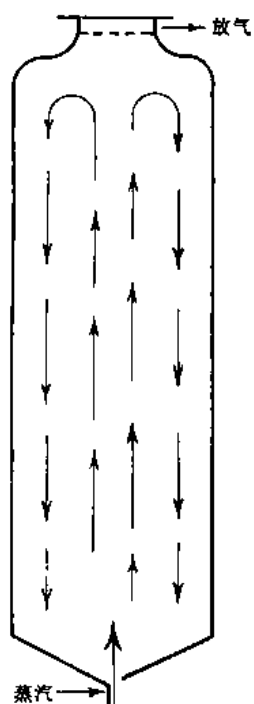


图 8-4 在蒸煮锅中的
对流循环

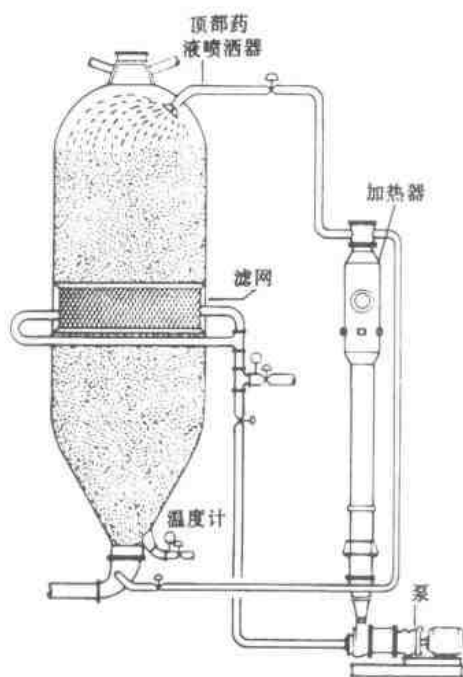


图 8-5 间接加热系统经循环滤网
从蒸煮锅抽出药液，药液在加热器
加热后返回顶部和底部的人口

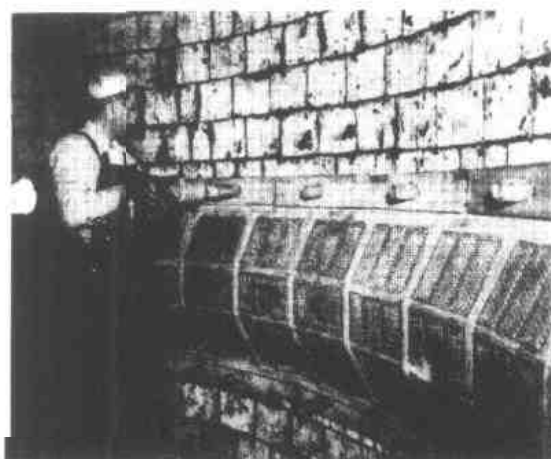


图 8-6 安装在蒸煮锅砖
衬中的循环滤网 (ESCO)

间确保浆料的良好分离和闪急蒸汽挟带出最少的液体。闪急蒸汽以及有机汽化物通常被送入蓄热回收系统（见 8.5 节）。

每次蒸煮的时间周期基本是相同的，所以全部间歇蒸煮锅都可保持喷放和装料的交错进行。

8.2 传统间歇式硫酸盐蒸煮的改进

至少有 90% 的间歇式硫酸盐蒸煮仍如上面所说那样进行。但过去十年来传统间歇式蒸煮也有若干重要的改进，这些改进方法被迅速引用到新系统中和老厂的更新改造中。新方法包括新增加设备和工序，但并不延长蒸煮周期。

蒸煮的热量置换

已经开发出两种置换热量的方法，并已进入商业应用以减少间歇蒸煮的蒸汽消耗。这两个工艺称为“快速置换热量（RDH）”和“超级间蒸（Super Batch）”或“冷喷放系统（Cold Blow System）”，分别由 Beloit 的 Rader 分公司和 Sunds Defibrator Cellico 公司所发明。这两个方法很类似，这里将只详细介绍 RDH 系统。

RDH 工艺的操作周期示于图 8-7。从 H —因子已经达到的蒸煮终点作为起始点（在图中的第 1 阶段）最易说明。将废蒸煮液用本色浆洗浆机滤液从蒸煮锅迅速置换出来，从而结束蒸煮，并使木片物料冷却。置换出来的热废液在压力下保存于槽罐 C 中。在第 2 阶段，继续进行置换，直至将木片物料冷却到约 80°C ；较高温度的置换液转移至带压槽罐 B，而低于 95°C 的置换液则转移到常压槽罐 A。在第 3 阶段，冷却了的木片物料用压缩空气喷放（如图所示）或稀释后用泵抽走（见下面“蒸煮锅新卸料法”一段）。

连续地将（如图中第 4 阶段所示）槽罐 C 中热黑液抽经一个热交换器以加热白液。热白液（约 157°C ）贮存于带压白液贮槽中，被冷却的黑液则送去槽罐 A。在第 5 阶段，倒空的蒸

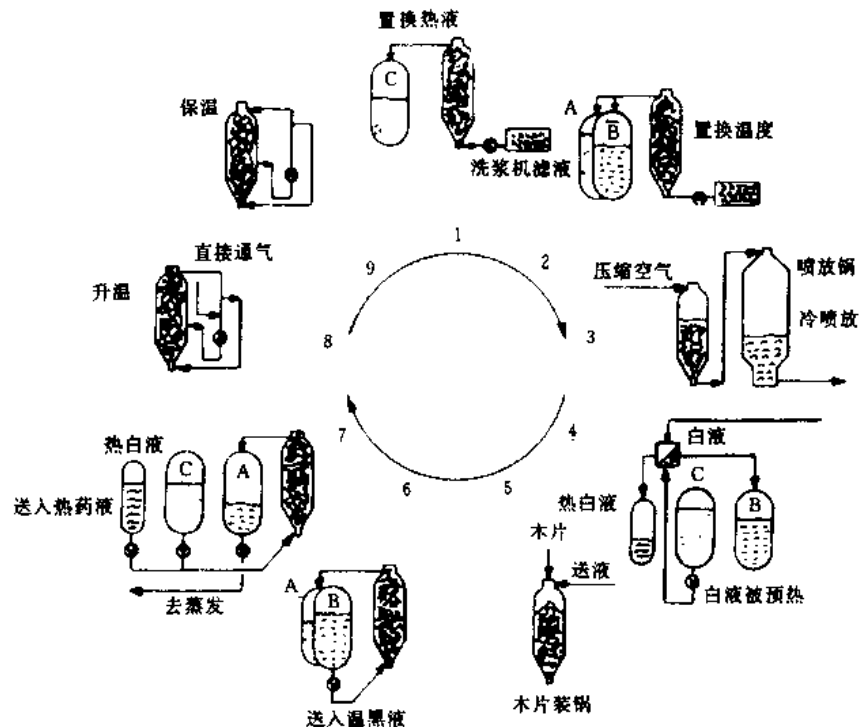


图 8-7 RDH 制浆系统的操作周期

煮锅装木片，并从槽罐 A 将稀黑液利用特制的药液喷洒器进行装锅（在有些系统中，考虑到空气与黑液皂化物的再夹杂问题而用蒸汽装锅代替黑液装锅）。在第 6 阶段关上锅盖球阀，蒸煮锅用来自槽罐 B 的黑液装液、预热和提压。

在第 7 阶段，将分别来自白液贮槽和槽罐 C 的热白液和黑液送入到蒸煮锅，同时将锅内温黑液置换到槽罐 A。这样，蒸煮锅内的物料不必通入任何蒸汽，即可将温度预热到约 150℃；但在连续作业中要用少量蒸汽保持槽罐内和白液贮槽内的温度。槽罐 A 中的剩余黑液则泵去蒸发器。

在第 8 阶段，起动循环泵，借循环管线上的直接通汽进行升温。当达到指定温度时（第 9 阶段），停止循环， H -因子继续增加。当达到指定的 H -因子时，立刻用洗浆机滤液从蒸煮锅置换出热废液，下个周期又重复进行。

深度脱木素

虽然 RDH 最先是作为一个节能方法而开发出来的，但随后发现⁽¹⁾，该工艺所制得纸浆可比传统硫酸盐工艺的 Kappa 值要低得多，而且又不损失强度，估计很可能是由于木片受到黑液的预浸而具有高浓度的游离硫化物离子。这种在蒸煮初期避免了硫化物短缺的事实，很可能就是 RDH 工艺为什么在保留碳水化合物的同时在脱木素方面更具选择性的原因。从操作经验还发现，由于药液循环，蒸煮液消耗下降了 5%~10%。另一个优点是在用洗浆机滤液置换废液时所产生的部分“洗涤”作用。

蒸煮锅新卸料法

在 20 世纪 80 年代后期，通过一系列的“挂篮”试验已发现，在蒸煮后期从留在间歇式蒸煮锅内部的经过蒸煮的木片所得到的纸浆，其强度要高于相应的从蒸煮锅喷放出来的纸浆。很明显，在传统放料期间一定的流动条件（如热量、速度、管道摩擦、蒸汽闪急等）是造成纸浆强度重要损失的原因。根据上述药液置换技术，已开发出了一种新卸料法（如图 8-8 所示），即加入稀液并在受控的低流速下，将冷却和降了压的蒸煮锅内容物泵走。这种新卸料法，其排出浆料强度接近于在蒸煮后期蒸煮锅内尚未喷放的浆料的强度⁽²⁾。

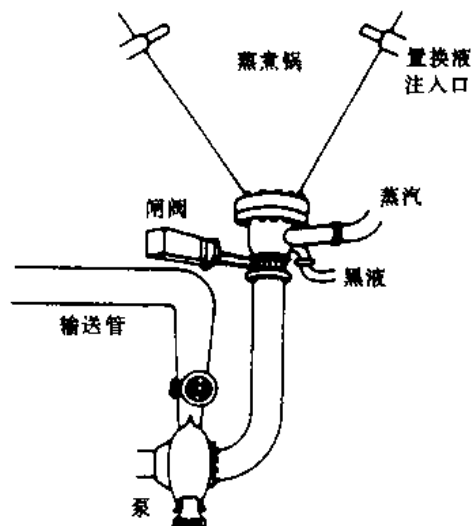


图 8-8 间歇蒸煮锅的改良卸料装置

8.3 连续蒸煮器

早期设计的水平管式连续蒸煮器，利用一个加热加压室送入木片和化学品；然后将混合物料送经一组蒸煮管，以提供蒸煮反应的停留时间。这种形式的蒸煮器现在仍在半化学浆生产和木屑、锯末的碱法制浆中使用。其典型设计示于图 8-9。

M&D 蒸煮器

带链板输送机的 M&D (Messing 和 Durkee) 斜管蒸煮器代表了操作适应性上的重大改进（参见图 8-10）。由于整个斜管内部都是带压的，在任何点的温度都可通蒸汽或利用强制循环升温；这样在达到最高温度前可以有一个完整的预浸阶段。停留时间可借输送机的速度精确地控制。

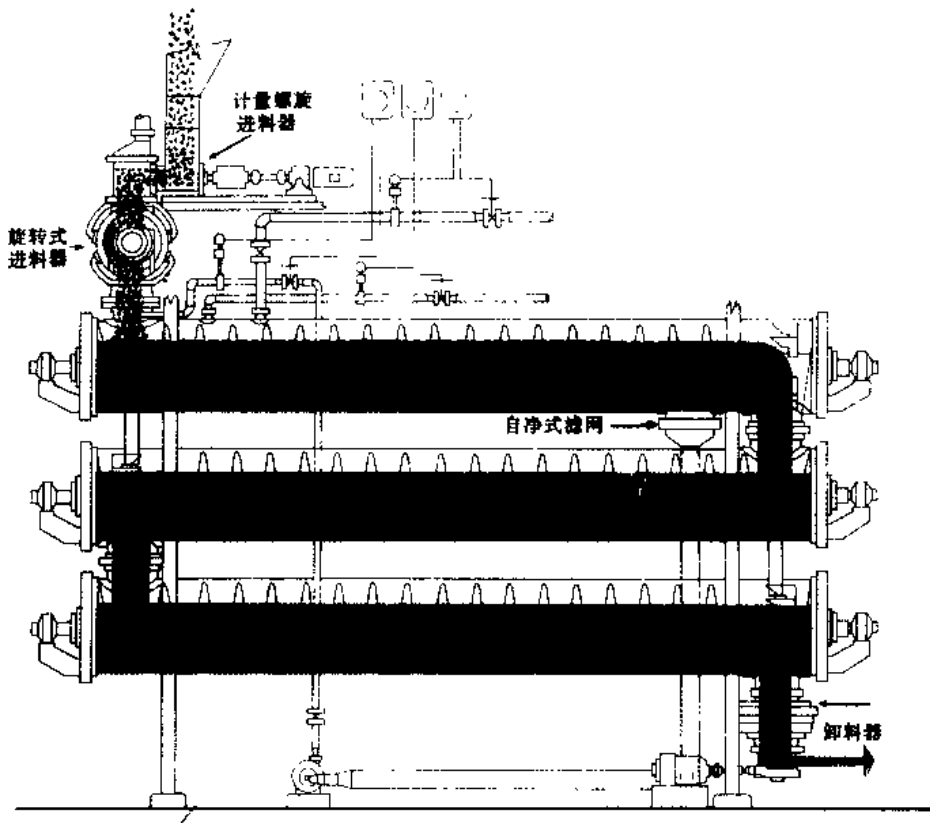


图 8-9 水平管式连续蒸煮器

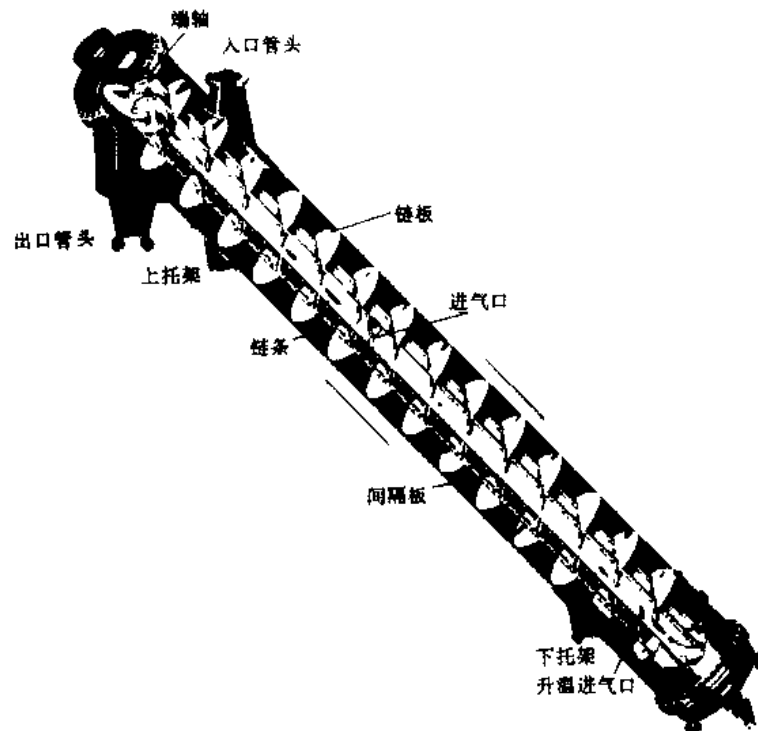


图 8-10 Bauer M&D 连续蒸煮器

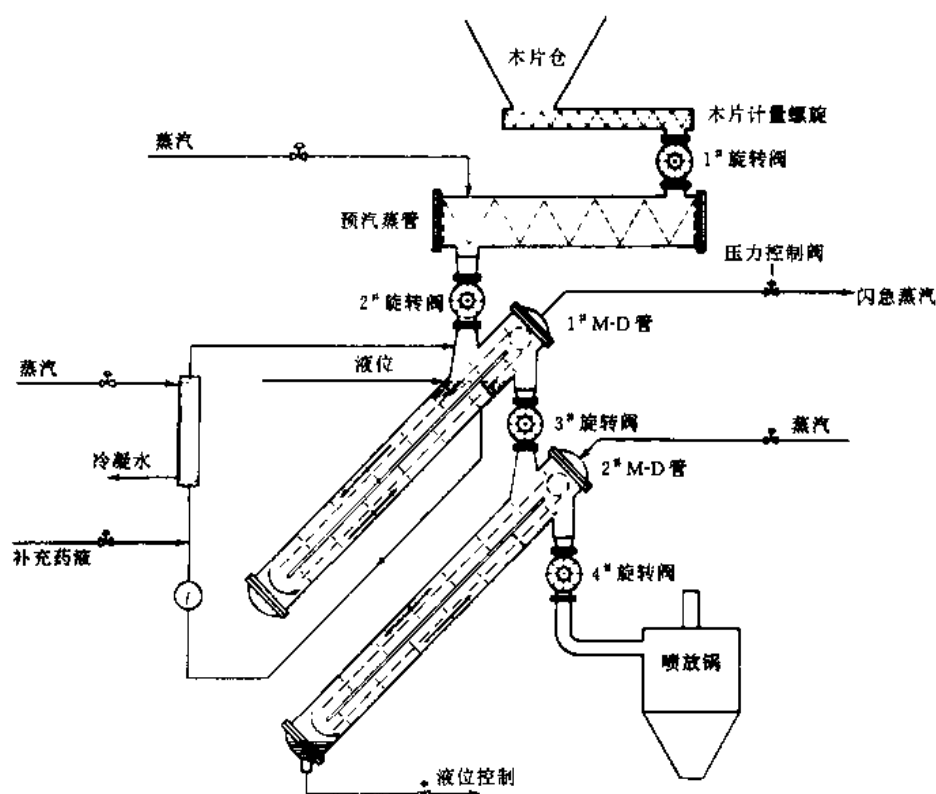


图 8-11 双管式 Bauer M&D 连续蒸煮器

使用双 M&D 管串联（如图 8-11 所示），有可能在预浸阶段保持更好的控制。已经知道，彻底的预浸，可使在高温汽相中的蒸煮阶段非常迅速的进行。这项技术称之为“快速汽相蒸煮”但尚未完全商业化。

虽然 M&D 系统可以很好地应用于木片硫酸盐制浆，但主要的商业化应用还是锯末硫酸盐制浆、木片半化学制浆和木片预汽蒸。设备规格是其主要限制，蒸煮器是制造厂预制好的，其单个容器的最大直径为 2.4m 左右。因而对一个经济规模的硫酸盐浆厂而言，需要有 3~4 套串联或并联的斜管装置。而通常在一个或两个较大的装置中进行连续蒸煮作业，吸引力要更大些。

Kamyr 蒸煮器

最广泛应用的是 Kamyr 公司的降流立式连续蒸煮器。第一套商业化装置建成于 1950 年，到 1990 年大约已安装了 350 套。

20 世纪 60 年代后期和 70 年代早期，最广泛应用的 Kamyr 系统，大致如图 8-12 所示。蒸煮器本身有 60~70m 高。筒体直径自上而下逐渐增加。典型的生产能力约为每天 1000t 浆（绝干）。在该系统操作中，药液循环起了很重要的作用。

从木片仓来的木片经过容积式木片计量器和回转式低压进料器进入汽蒸器。汽蒸器内缓慢转动的螺旋将木片输经水平式汽蒸器，用 0.105MPa 压力的蒸汽（绝大多数是抽出残余药液的闪急蒸汽）将木片预热并逐出其中的空气和不凝气。然后木片落入一个与高压进料器联接的溜槽。高压进料器是一个带一系列交错格仓的单一转动元件。每个格仓在其直立方向时接纳木片，而在转子移动一个 90°角，处于水平位置时，木片被蒸煮液冲出，而进到蒸煮器人

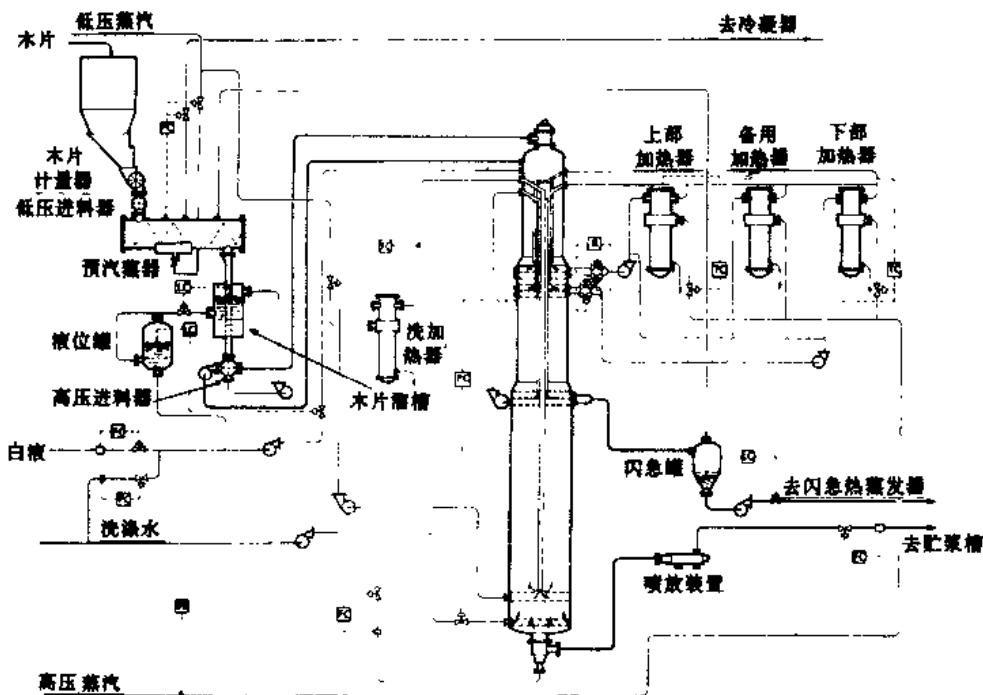


图 8-12 硫酸盐蒸煮的 Kamyr 连续蒸煮器

口。这时，混合物料进入一个圆筒形分离器：分离器壁板上的孔眼使药液流到周围的集液环，并返回到进料器，而木片则被旋转的螺旋向下推。当木片进入蒸煮器本体时，它们已吸足了碱液，使它们有可能借重力向下移经蒸煮器顶部的充液区，直到它们落到木片料层上。

借调节去蒸煮器的白液和黑液流量以维持液柱上方 1.16MPa 的液压。需要较高的内压以避免在不同温度区内药液产生沸腾和闪急蒸发。

木片料层作为一个无沟流的整体料柱向下移动（即所谓“塞流”）。蒸煮器上部的

第一区使木片在 105~130℃ 浸渍约 45min。在加热区分两段进行升温，其具体程序是从蒸煮器周边抽出药液，将该药液泵经外置热交换器，然后又通过中心管将它返回到蒸煮器。一旦物料达到指定温度，在第三区提供充分的停留时间以完成制浆反应。由于制浆是放热反应，最高温度实际比外加热所提供的温度要高 2℃ 左右。Kamyr 的典型温度分布情况示于图 8-13。

借将热药液通过周边滤网抽到闪急罐去而结束制浆反应，闪急罐出来的蒸汽送去汽蒸器。热液被向上流动的“洗液”（通常是本色浆洗浆机滤液）所置换，洗液是在靠近蒸煮器底部处注入，并与木片流逆向移动以提供“扩散洗涤”。在洗液入口和抽液滤网之间，一般要有足够高度，以便至少有 1.5h 的时间，让残液从木片扩散出来。

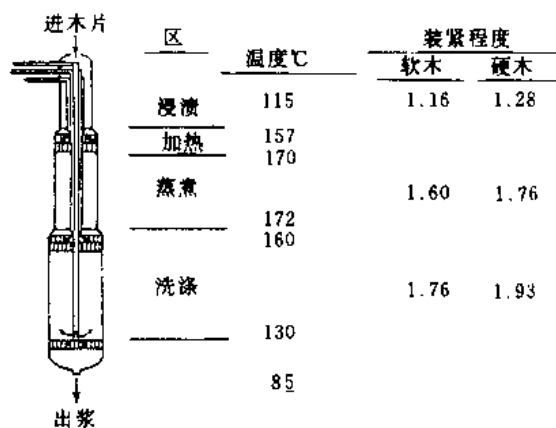


图 8-13 在 Kamyr 蒸煮器中的温度分布和木片装紧程度

在蒸煮器底部,借缓慢转动的叶片(该叶片固定于出口装置轴套的旋臂上)将冷却了的软化木片连续打成浆状。在这里,稀释浆料处于约 1.4MPa 的压力下,然后以受控的速度喷到常压喷放锅中。喷放管线通常利用小压力容器任一侧的带可变孔口的控制阀,以便有三个压降控制段。

Kamyr 蒸煮器的生产量是根据容积式木片计量器的旋转速度而定的。所有其他各部的流量都必须调整到与木片进料量相一致。蒸煮器底部的流量是随着蒸煮顶部木片料位的变化而减少。在蒸煮器每个区的停留时间取决于生产量和装紧程度。装紧程度是指计量器中木片容积(单位木片量)与蒸煮器另一区的比例。在浸渍、蒸煮与洗涤区的装紧程度是不同的,并随木材品种、脱木素程度和蒸煮高度而变。软木和硬木装紧程度的一个例子示于图 8-13。

Kamyr 系统的主要改进

虽然自发明伊始,Kamyr 液力蒸煮器的基本操作原则没有改变。但在过去 40 年来已有许多改良与改进。其中若干较重要的进展如下:

(1) 从热喷放改为冷喷放以保持纸浆质量(1958)年。

(2) 蒸煮器又包含了扩散洗涤段(1962)年。

(3) 开发了用于亚硫酸盐和预水解硫酸盐制浆的汽相蒸煮器(Vapor phase digester 1967)。这类装置最初是使用一个外置的倾斜式分离器,只将本片送入蒸煮器顶部。加热是在蒸煮器顶部直接通入蒸汽。

(4) 改进木片溜槽和增设在线排液装置(1968)年。

(5) 开发了在液力式浸渍塔后随之以汽相蒸煮器的双塔系统(1972)年。在该系统中,外置的倾斜式分离器为内置的反向式分离器所替代。

(6) 木片在专门设计的木片仓中进行常压预汽蒸,以改善木片汽蒸和减少汽蒸器中的新蒸汽用量。

(7) 开发了液力式浸渍塔后随之以液力式蒸煮器的双塔系统(1979)年。该系统通常被视为是对上述双塔系统的改进,多数在 20 世纪 80 年代安装的大吨位系统均属这种型式。

(8) Kamyr 系统采用深度脱木素工艺(1984)。该工艺被 Kamyr 称之为“改良式连续蒸煮(简称 MCC)。”将在下节详细讨论。

改良式连续蒸煮(Modified Continuous Cooking)

斯德哥尔摩的瑞典林产品实验室(STFI)和皇家技术研究所研究开发出了 Kamyr 的改良式连续蒸煮(MCC)系统。该工艺的特点是起始碱浓度低以及蒸煮后期的木素和钠离子浓度低。虽然蒸煮到较低 Kappa 值水平,该工艺还可生产出强度性能相当好的纸浆⁽³⁾。

图 8-14 示出了采取 MCC 工艺的双塔系统流程。其主要的工艺改变有三个方面。

- 在过程的三个不同点加入白液。
- 浸渍塔周围安装有药液循环管线。
- 在逆流状态下进行最后阶段的蒸煮。

一个计算机模型(图 8-15)显示,木片内的碱浓度分布如何借这些改良而趋于拉平的。此外,被溶解的木素和钠离子浓度在蒸煮区末端因逆流作用而降低。

虽然 MCC 工艺原先是为双塔系统而开发的,但也在单塔蒸煮器系统用 MCC 工艺作了成功的改造⁽⁴⁾。

IMPCO 蒸煮器

另一种立式降流连续蒸煮器是由 IMPCO 公司所设计制造的,列示于图 8-16。这套装置首

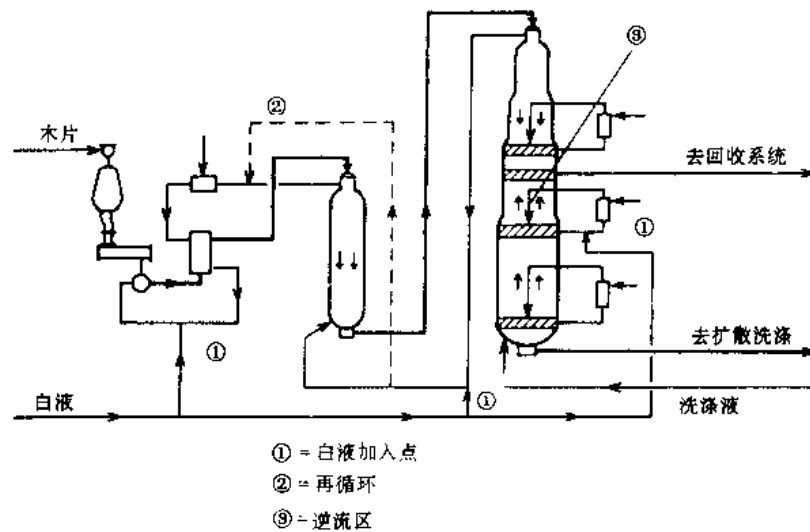


图 8-14 采取深度脱木素的汽液相双塔蒸煮器

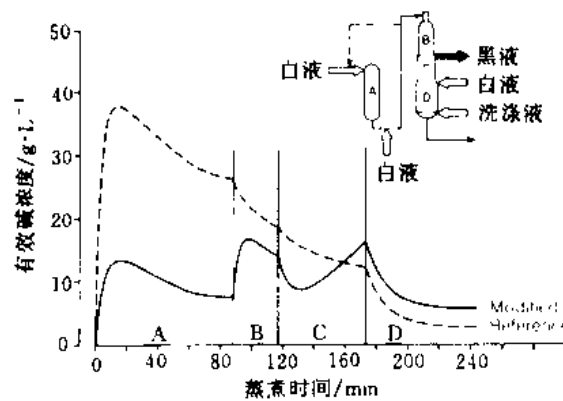


图 8-15 在汽液相双塔蒸煮系统中木片内部有效碱浓度的分布——传统系统与改良系统比较（根据数学模型计算而得）

次商业化运行是在 1967 年。现在在全世界约安装有 15 套这样的装置。IMPCO 蒸煮器在好几个方面都不同于 Kamyr 蒸煮器。在木片经预汽蒸后，经过一个高压旋转进料器，直接进入带有高压蒸汽的蒸煮器顶部，然后木片进入浸渍器的液相中，木片和药液一起向下移动，在浸渍区停留约 20min，直到它们到达下导管出口（下导管有经加热的循环药液）。

由上部自净式滤网抽出循环药液，并泵经一个热交换器后去回流管。其循环流量是经过设定的，以使上部蒸煮区的全部药液至少循环两次。处于最高温度的木片然后进入下部蒸煮区以平衡停留时间。

在蒸煮器底部，抽出热药液，用以调节进蒸煮器的药液浓度，或被闪急蒸发产生蒸汽以供预汽蒸之用。热药液被底部的冷稀释液所置换，以便在低温状态下向喷放锅排放浆料。

与 Kamyr 蒸煮器相比较，IMPCO 蒸煮器对木片比木屑和锯末类配比更宽容些，且操作更简单。但它在设备布置方面缺乏灵活性，而且全部立式布置也使规格受到限制。

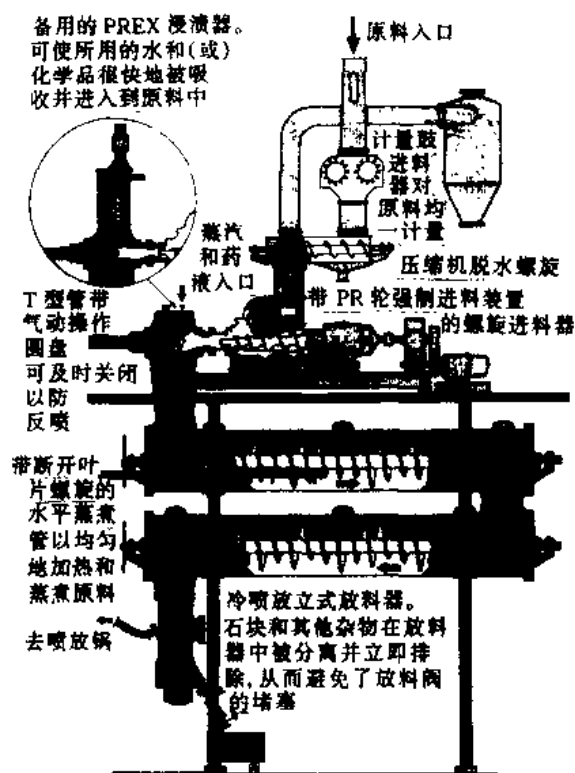


图 8-17 水平式蒸煮器系统 (Sund Defibrator)

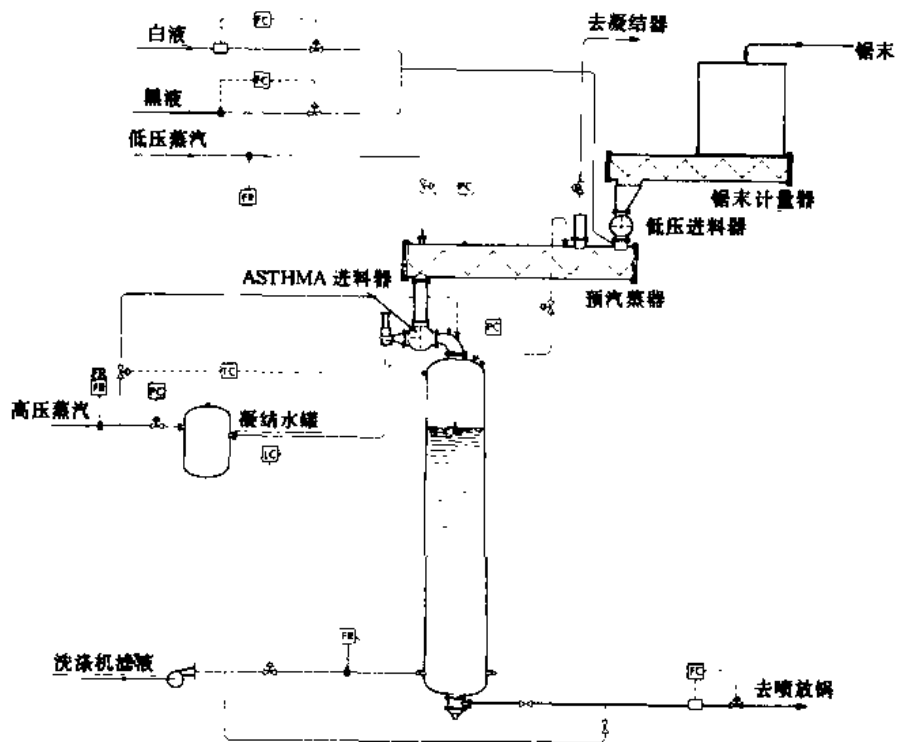


图 8-18 锯末用 Kamyr 连续蒸煮系统

8.5 喷放热量的回收

传统间歇蒸煮器的喷放热量回收系统必须达到两个目的：

- 从闪急蒸汽回收可用的热量。
- 相关的臭味气体全封闭。

在传统间歇蒸煮器喷放时放出大量的蒸汽，其数量约为每吨浆 1.8t。由于压力从约 0.7MPa 降到常压，废液闪急蒸发，使得从 170℃ 的蒸煮温度自发地冷却到约 105℃。

在连续蒸煮器系统中，所产生的闪急蒸汽数量亦不少，但它可连续地应用于木片的预汽蒸，从而大大减少新鲜蒸汽的耗用量。在传统间歇蒸煮系统中，废汽不能直接重复使用；然而其热量可有效地利用（虽然是在低“水平”），比连续系统更为有利的优点是更少极端化。

图 8-19 例示了典型的硫酸盐间歇蒸煮锅喷放热量回收系统。从喷放锅来的闪急蒸汽送入凝结槽的顶部。在这里它与从槽底部泵出的冷凝水相混合。蒸汽（以及有机气化和若干挟带的黑液）冷凝下来形成“污冷凝水”，流入凝结水槽的上部。该污热水用于间接加热新鲜的清水，供洗涤纸浆之用，污热水变冷后，又返回到凝结水槽的底部。污冷水去直接接触式凝结器的流量，受出口温度的控制；流量循环周期随喷放锅来的蒸汽波动情况而定。

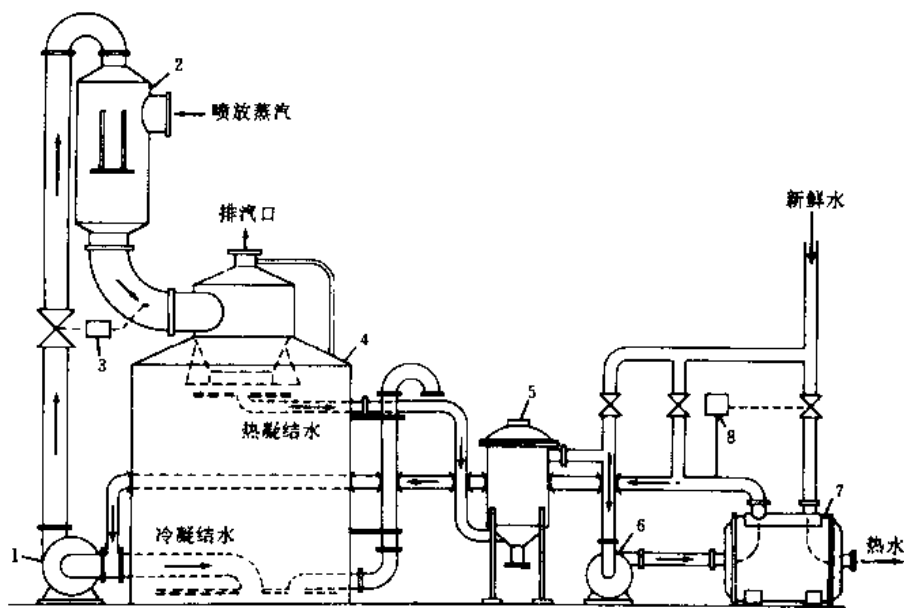


图 8-19 典型的喷放热量回收系统 (Rosenblad)

凝结水被泵 1 泵去凝结器 2，中间经过一个温控流量阀 3，凝结水槽 4 利用冷、热部之间的流动界面提供缓冲容量。热凝结水经过一个过滤器 5 被泵 6 送到一个热交换器 7，在这里凝结水被冷却后返回到凝结水槽，进入热交换器的新鲜水由温控装置 8 控制温度

喷放热量回收系统的核心是凝结水槽，它提供必需的缓冲容量。在喷放的前期，大量的热污凝结水积存在槽的上部。稍后，随着热凝结水不断地泵到热交换器，并以冷凝水形式返回，冷、热层之间的界面上升，直到下次喷放时界面又降下来。这样，凝结水槽冷热部分之间的流动界面，在为热交换器供应一个稳定热水流量的同时，保证了交变性的贮量和热扩散作用。

喷放蒸汽的凝结水都是脏污带臭味的有机物和还原硫化物从凝结水槽排空的不凝气也含臭味成分。这两者是污染物（高 BOD、强臭味）的集中来源，必须给予专门处理。一般做法是在石灰窑中焚烧不凝气（见 27.3 节）。从凝结水槽下面排出的污染物一般进行汽提以除去挥发性有机化合物，这些挥发性有机物通常也在石灰窑中焚烧。

参 考 文 献

- (1) EVANS, J. C. W. **Batch Digester Heat Displacement System Reduceam Consumption** *Pulp & Paper* (Juily1989)
- (2) CYR, M. E. , EMBLEY, D. F. and MACLEOD, J. M. **Stronger Kraft Softwood Pulp Achieved** *TAPPI Journal* (October1989)
- (3) JOHANSSON, B. , et al **Modified Pulping Process Shows Promising Results at Finnish Mill** *Pulp & Paper* (November1984)
- (4) WHITLEY, D. L. , et al **Mill Experiences with Conversion of a Kamyr Digester to Modified Continuous Cooking** *TAPPI Journal* (January1990)

第9章 纸浆的后处理

纸浆要经历许多道后处理工序，具体工序跟其制备方法（即机械浆、半化学浆、化学浆，二次纤维）及其最终用途有关。筛选、浓缩和贮存工序，实际上对所有浆种都是必需的，而净化则一般在纸面外观很重要才需要。对所有半化学和高得率化学浆都需要纤维解离工序。而除节则通常在生产洁净的可漂化学浆时才需要。为使产品更为均一，几乎总是希望有混合工序，但由于成本上的问题，往往在纸浆后处理设计中不加考虑。当纸浆要长期贮存（而防止霉变或细菌活动）或长距离运送（而减少运输费用）时，纸浆干燥是必需的。

图 9-1 所示硫酸盐法溶解浆厂的简要流程图，列示了后处理工序的典型程序。

9.1 纤维解离

所有高得率化学浆和半化学浆在蒸煮结束后，都必须再用机械法解离纤维。得率最高的（即 80%~90%），其解离作业跟木片磨浆一样（见 5.3 节），需要用很高的能耗来分离纤维。在较低得率范围（50%~60%）则所需能耗较低。化学浆的纤维解离作业应认为与以后在纸厂进行的打浆无关；但必须承认纤维解离的方法和程度，对以后打浆的动力需要是有影响的。

研究工作表明，当纤维解离是在有热废液存在情况下（如“热浆磨浆”）进行时，能耗较低。因为不管怎样洗涤未解离片总是比较困难的，将来自喷放锅的未解离片立即解离几乎是常规做法⁽¹⁾。有些系统在两段磨浆后接着进行纸浆洗涤。

通常用盘磨机进行纤维解离。最普遍的结构是双盘磨。浆料从磨浆机入口进入，然后在每对磨片之间径向外流的浆料汇集于环形外壳，接着在压力下从出口处流出。

纤维解离的具体应用参见 20.4 和 20.5 节。

9.2 除节

在低得率（如可漂浆）化学制浆作业中，节子通常是指留在 9.5mm ($\frac{3}{8}$ in) 筛板上的纸浆碎片。这些浆渣大多数是不规则形状木条和过厚木片的产物，但有时也存在正常规格未蒸解片。节子是在洗浆以前从纸浆中除去的，或将其作为废物弃置，或送到蒸煮器回煮。

定期监测节子量的多寡（按纸浆的%）和分析尾渣的质量情况，不失为一项很好的管理措施。除节机尾渣的比例高，特别是显示有高百分含量的未蒸解片时，一般说明蒸煮的均匀性很差。图 9-2 示出某个工厂在实施工艺改进（即改善药液循环）前后所测得的节子量多少的数据。

除节机有两种型式。老式的振框式除节机可有效地分离节子，但这种开放式结构产生泡沫和溅液，操作者要很小心。浆料中的泡沫影响随后洗浆作业的效率，并可造成其他的一些麻烦。振框式除节机已很快被全封闭的压力筛式除节机所取代。

压力筛式除节机（如图 9-3 所示）包括全封闭的筒体和穿过良浆流的带孔筛板。旋转的翼片造成一系列压力或真空脉冲，以保持孔眼的洁净。节子留在筛板的进口侧并不断地被排除，有些好纤维也被带走。压力除节机的主要缺点是其尾渣需要经二次筛选，以便让好纤维返回到系统。

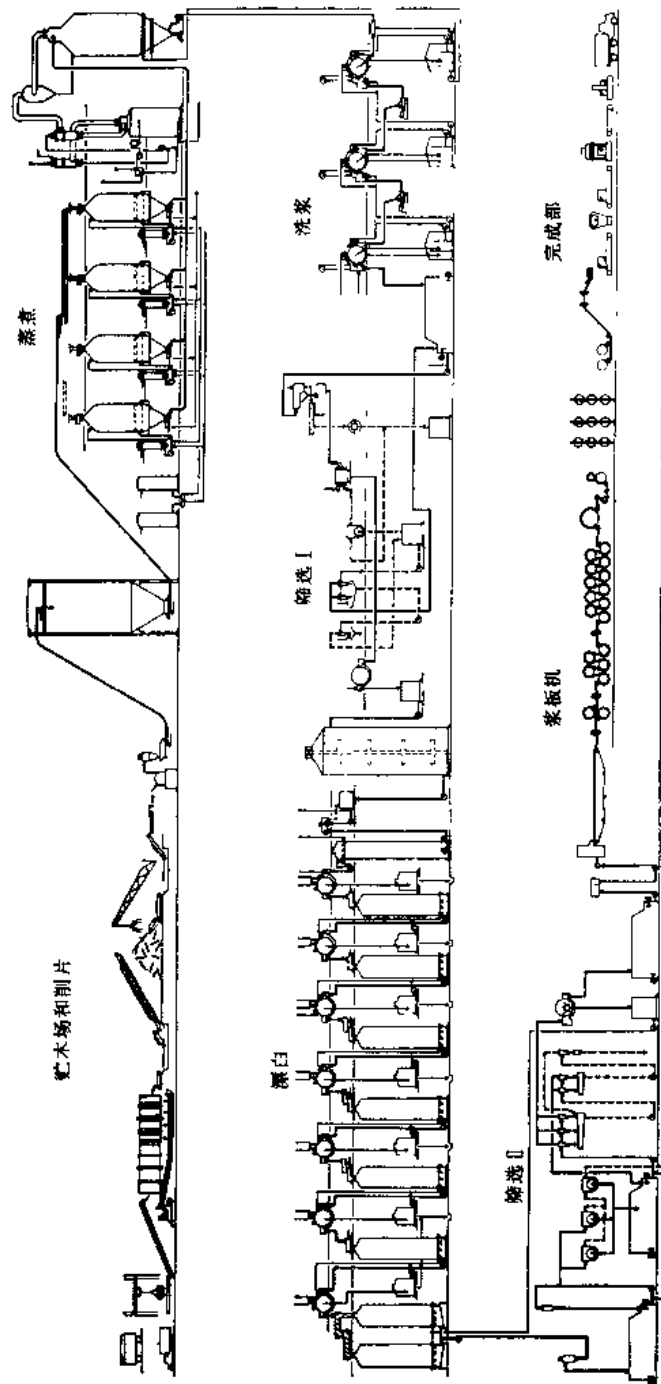


图 9-1 硫酸盐法溶解浆厂的简要流程

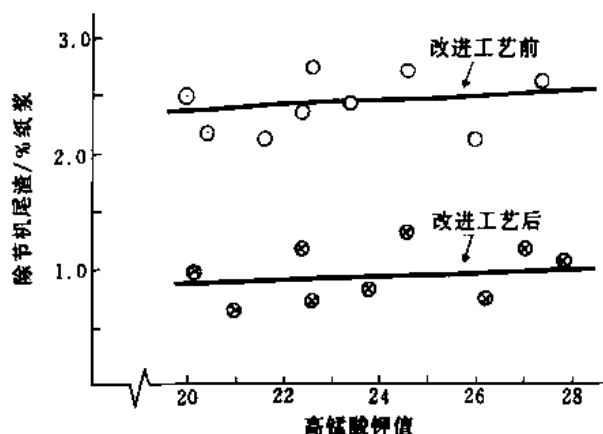
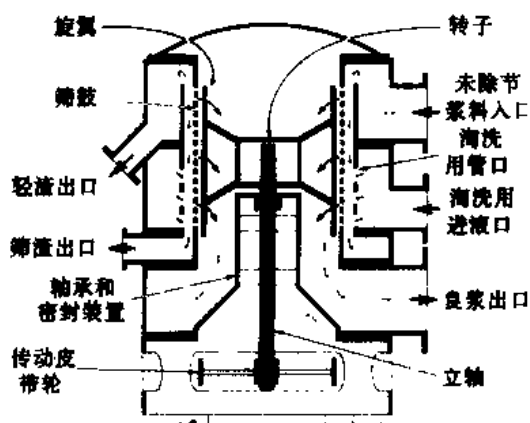


图 9-2 两个作业期尾渣量与高锰酸钾值的关系

图 9-3 压力除节机截面简图
(Impco/Ingersoll Rand 公司)

9.3 本色浆洗涤^{(2)~(4)}

从蒸煮器出来的蒸煮后纸浆必须进行洗涤，其目的是：

- 除去会在以后工序中污染纸浆的残液；
- 以最低限度的稀释，回收最大量的废化学品。

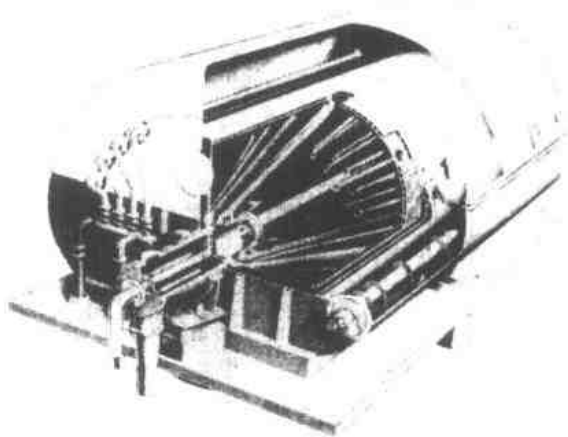
数十年来，标准的洗浆方法都采用一组逆流洗涤的回转式真空洗浆机。目前已有不少挑战回转式真空洗浆机优势地位的其他方法，最著名的有：

- 带压和常压的扩散式洗浆；
- 回转式压力洗浆机；
- 水平带式洗浆机；
- 稀释/抽提设备。

回转式真空洗浆机

真空洗浆机的主要部件是一个在含纸浆悬浮液的网槽中旋转的覆盖网布的洗鼓。利用内置阀和一个密封的落差水腿，在转鼓转入浆料中时形成抽力。当它从浆槽冒出时，网面积聚起一层厚浆。随着转鼓继续旋转，又加入洗涤水以置换浆层中的黑液。最后切断真空抽力，使洗后浆从洗鼓上卸下。真空洗浆机的典型设计示于图 9-4。这类洗浆机的典型逆流式布置示于图 9-5 和图 9-6（也参见 9.6 节）。

虽然应用了置换机理（如图 9-7 所示），单段洗浆机的平均置换效率由于许多因素，很少有超过 80% 的。因此需要 3~4 段才能满意地达到除去 99% “可洗出的” 黑液固形物。一小部分与硫酸盐浆纤维呈化学结合的钠，不能为传统的洗涤技术所回

图 9-4 单段真空洗浆机的内部结构
(Beloit Rauma 公司)

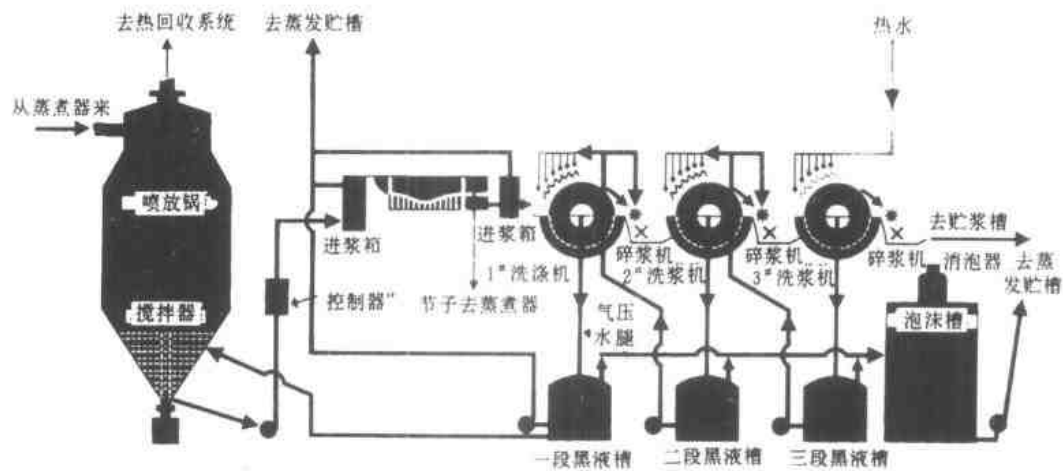


图 9-5 本色浆逆流回转式洗浆机的典型流程图

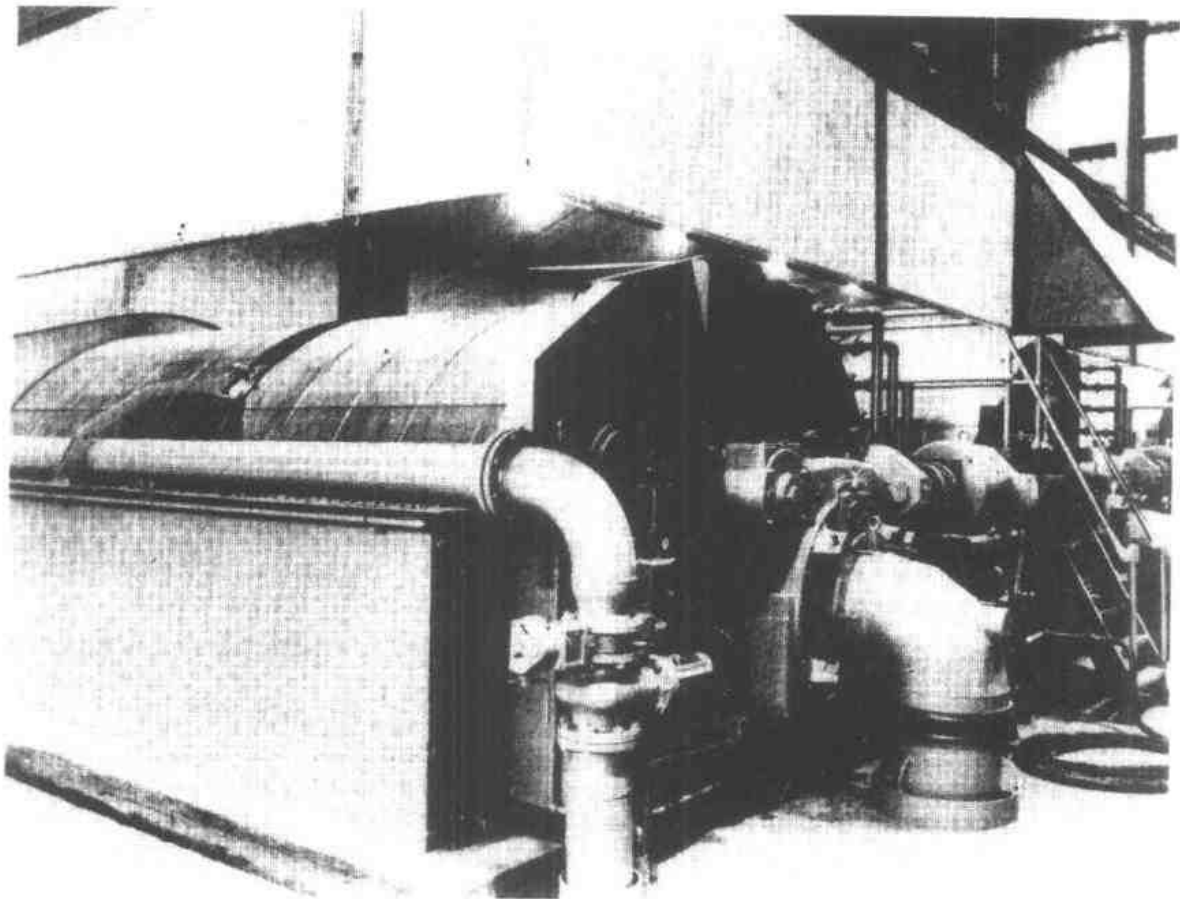


图 9-6 本色浆回转式真空洗浆机 (Impco/Ingersoll Rand 公司)

收。影响置换效率的因素见表 9-1。参考文献 (2) 详细介绍了一些重要的变数。关键性的变数可能是单位负荷、稀释因子和浆料中的空气数量。

单位负荷通常是测量每平方米转鼓面积每天的绝干吨浆量 (BDTPD/m²)。典型负荷值为 6.5~8.6 范围；负荷超载（一般是工厂产量扩大了）时，洗涤效率就很差。

表 9-1

影响本色浆洗涤置换效率的因素

纤维品质	喷水管情况	浆层匀度和厚度	操作因素
<ul style="list-style-type: none"> · 制浆工艺 · 浆料硬度 · 浆料游离度 · 材种 	<ul style="list-style-type: none"> · 温度 · 分布状况 · 使用方法 	<ul style="list-style-type: none"> · 单位负荷 · 网槽浓度 · 网槽转速 	<ul style="list-style-type: none"> · 稀释因子 · 浆料温度 · 浆料中空气（泡沫） · 黑液固形物含量 · 网目特征 · 网垢情况

稀释因子是使用多于全部置换所需洗涤水的测量数，以绝干浆的 kg 表示。通常稀释量大，洗涤得也干净。但稀释因子又是加到黑液系统中的水量的直接测量数。因此高稀释因子所获得的洗涤上的好处必须与高蒸发负荷相平衡。

在任何真空洗涤作业中，都有一定量的空气随着洗涤液不断地穿过浆层，下到气压水腿进入水封槽。在洗涤液重新回用前，设法除去空气对于消除泡沫问题是很重要的。这项任务通常借安装大容量水封槽（其直径可为高度的一倍）加以解决，面积大了，便于空气逸出和泡沫破碎。有时也用机械式消泡器。

洗涤液的加入方法，影响洗涤效率和泡沫形成，也是一项重要的设计考虑。洗涤液应该均一地慢速加入，以避免产生沟流和泡沫。高压射流或喷水管不很理想，低压喷水管一般给水不均，且会很快被污垢堵塞。理想的加入方法是用堰式喷淋器，这种喷淋管通常由浸没在一个开式输水槽中的压力管所组成。洗涤液通过一组被浸没的孔眼分流进输水槽中，然后无扰流地经过一块弧形板输送到浆层上。意想不到的是，堰式喷淋器只在一小部分的回转式洗浆机中使用。

置换洗涤的效率很容易根据黑液（洗涤液）固形物含量的实际减少量与最大可能减少量之比计算出来。对单段洗涤为：

$$\text{置换比}(DR) = \frac{c_v - c_s}{c_v - c_w}$$

式中 c_v ——网槽黑液固形物浓度

c_w ——洗涤液固形物浓度

c_s ——离开洗涤机的浆层中固形物浓度

注意，以水作为洗涤液时， $c_w = 0$ 。

但在本色浆洗浆机除去可溶性黑液固形物，主要通过置换和浓缩两个措施。浓缩的效率计算方法为：

$$\text{浓缩因子}(TF) = \frac{m_{\text{进口}} - m_{\text{出口}}}{m_{\text{进口}}}$$

式中 $m_{\text{进口}}$ ——每 kg 入口纸浆的含黑液量，kg

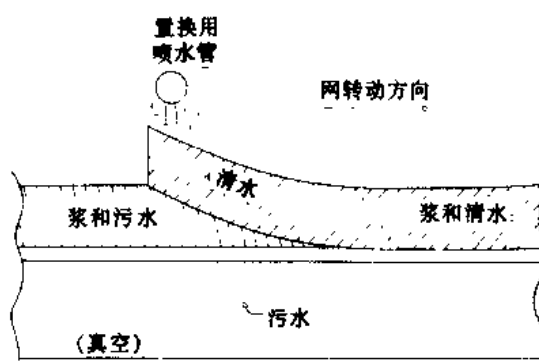


图 9-7 回转式真空洗浆机置换机理

$m_{\text{出口}}$ ——每 kg 出口纸浆的含黑液量, kg

同时

$$m = \frac{1 - \text{浓度}}{\text{浓度}}$$

因此, 除去可溶性固形物的总效率计算为:

$$\text{效率} = [TF - (1 - TF)DR] \times 100\%$$

日常是根据残留于洗后浆中的含碱(或相当的芒硝)量来监控洗涤效率的。洗涤效率 99% 一般相当于挟带有约 7~9kg/bdt 可洗去的相当量芒硝(如要计算总碱损失, 还必须将化合碱也考虑进去)。

扩散洗涤

扩散洗涤最先应用于 Kamyr 连续蒸煮器底部的木片料(见 8.3 节)。随后, Kamyr 公司将此原理移植和应用用于纸浆的洗涤; 第一套商业化常压扩散洗浆机安装于 1965 年, 第一套商业化压力扩散洗浆机(独立于蒸煮器)安装于 1979 年(图 9-8)。扩散洗涤的特点, 是在煮后木片(或纸浆)与移动的洗涤液之间有相当长时间的接触, 以便有足够时间从纤维结构中将可溶性固形物扩散或沥滤出来。这些工艺过程都是在浸没的状况下进行的, 这就排除了混入空气和起泡沫的可能性。

Kamyr 木片蒸煮器的底部存在着扩散洗涤(或 Kamyr 的专用术语“高温洗涤”)的理想状况。这里有可能在温度 130~140℃ 和完全逆流的洗涤区停留达 4h。可获得的洗涤效率跟稀释因子与停留时间成函数关系, 如图 9-9 所示。在实践中, 高稀释因子时蒸煮器内木片料的向下流动可能会受到妨碍, 特别是当蒸煮器在接近最高生产能力运行时。必须根据具体情况确定极限稀释因子。

在 Kamyr 锯末蒸煮器的底部存在不同情况(图 9-10)。由于装得很紧的料层阻力, 不能

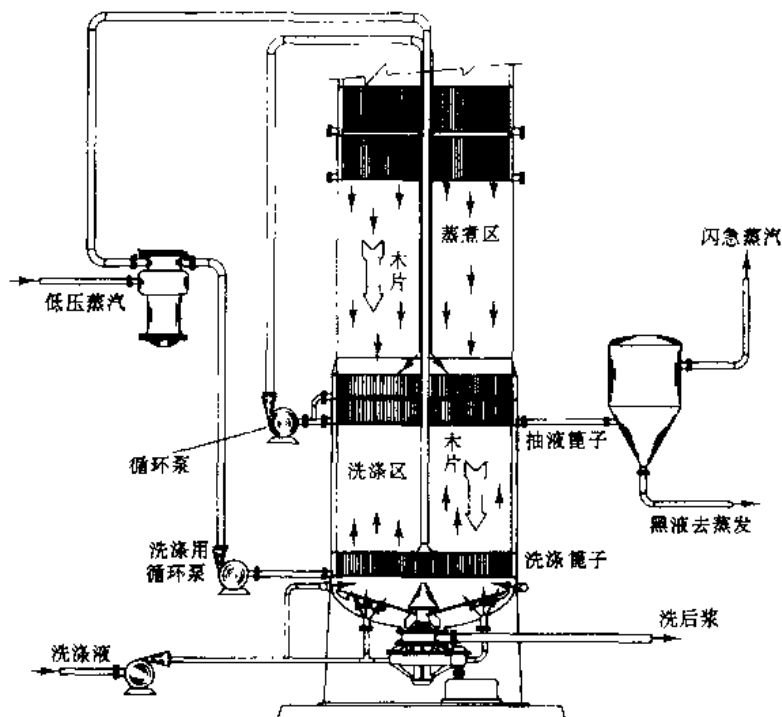


图 9-8 典型 Kamyr 木片蒸煮器的内置洗涤区

采取完全的逆流。所用方法是在周边加入洗涤液并从中心旋转篦子抽出被置换液体，篦子快速转动是为了防止堵塞。典型的洗涤区停留时间限于 20min 左右。

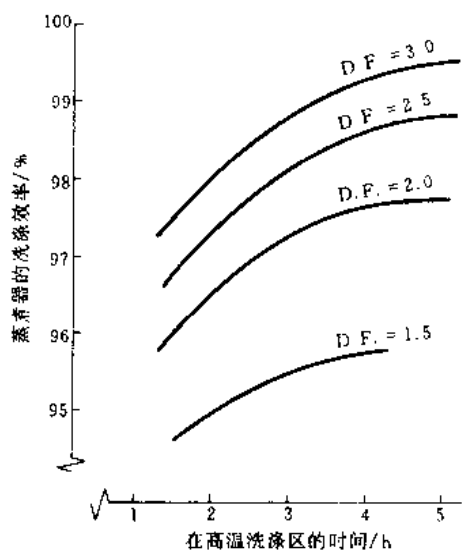


图 9-9 洗涤时间和稀释因子对高温蒸煮器扩散洗涤效率的影响

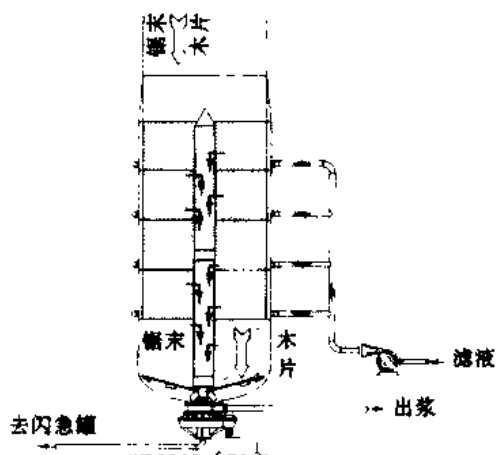


图 9-10 Kamyr 锯末蒸煮器的内置洗涤区

常压纸浆扩散洗涤器示于图 9-11 和图 9-12。可用单段和多段装置；图 9-13 示出了带浓缩器的全部三段装置。该装置包含一组双面同心式的篦子，在每块篦子之间有分布喷水管。整套篦子装置安装在一组液压缸上，并与纸浆等速向上移动。在上升到顶部时，篦子装置迅速向下移动，从而起到使篦子面保持干净的擦拭作用。洗涤液通过喷水管加入，而置换液则通过篦子抽出。在多段装置中，浆料向上移动；上部的抽出液用作下段的洗涤液。通常每段的停留时间为 8~10min。

Kamyr 压力扩散洗涤器 (图 9-14) 的操作运行与 Kamyr 锯末蒸煮器的内置洗涤器相似，主要设计成与 Kamyr 蒸煮器的内置洗涤器串联布置。喷放管来的浓浆在洗涤器顶送入，并使之经由略带锥形的筒形篦子和中心液室所形成的环形空间向下流动。洗涤液从中心液室喷出，强制流向篦子，并被抽取出来。还有另一种设计，篦子在对着浆料流动的方向定时地移动以便从篦子将浆料擦拭掉，并防止堵塞。

压力洗浆机

回转式压力洗浆机 (图 9-15 和图 9-16) 的操作运行类似于回转式真空洗浆机，但显现出有较大优点。在鼓面形成浆层，并借助于作用在洗浆机外罩内 (即鼓外) 的压力脱去水分。由

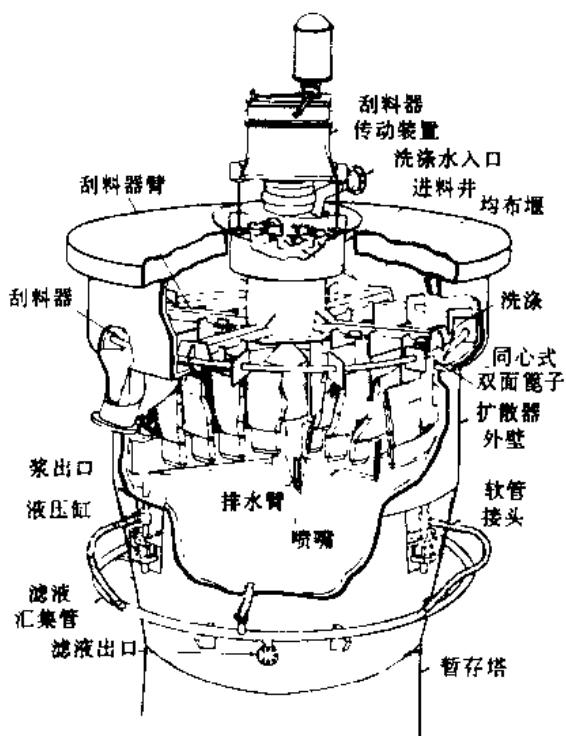


图 9-11 剖视图显示 Kamyr 扩散洗涤器的结构和操作情况

于形成浆层、脱水和置换洗涤液的推动力是在鼓外，洗鼓内部可利用作为更完善的洗液汇集系统；从而，单台洗浆机就可进行两或三段洗涤。较高的压力又允许使用较高温度的洗涤液并大大减少泡沫。密封的水汽循环系统便于收集和处理臭气。

水平带式洗浆机

水平带式洗浆机（图 9-17）类似纸机的长网部。浆料悬浮液从流浆箱流入到一个移动过滤带（如塑料网或钢带），并形成浆层。洗涤液施加到浆层的上面，被置换的滤液则借真空箱从过滤带的外侧被抽出。洗浆机逆流运行，从一个区抽出的滤液作为前一区的洗涤液，最后用作流浆箱的浆料稀释。与真空洗浆机一样，其洗涤机理主要是置换作用，而且浆层在段间不需要混和与再成形。所有 5 个置换段在带上很容易调整。

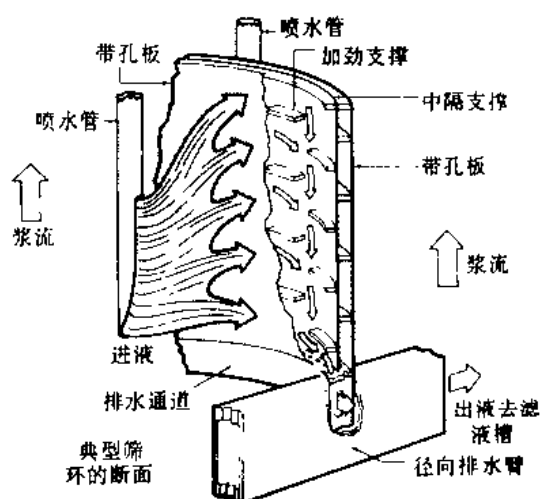


图 9-12 Kamyr 扩散洗涤器篦子装置简图
洗涤液通过旋转分配喷水管引入，
被置换液通过篦子收集并流入排水臂

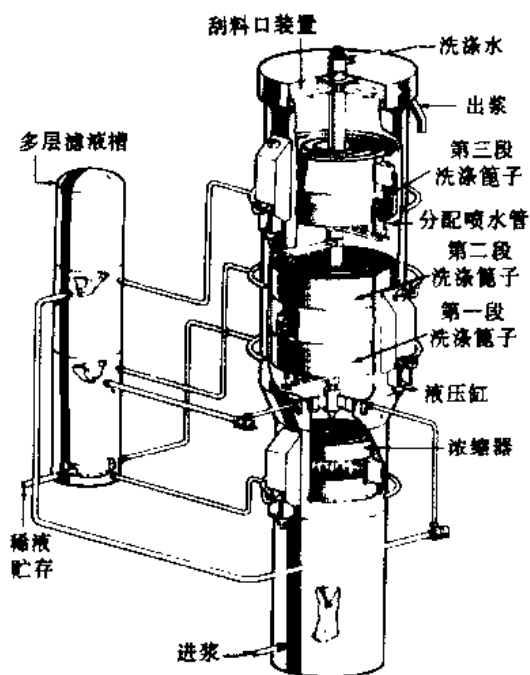


图 9-13 带浓缩器的三段扩散洗涤器

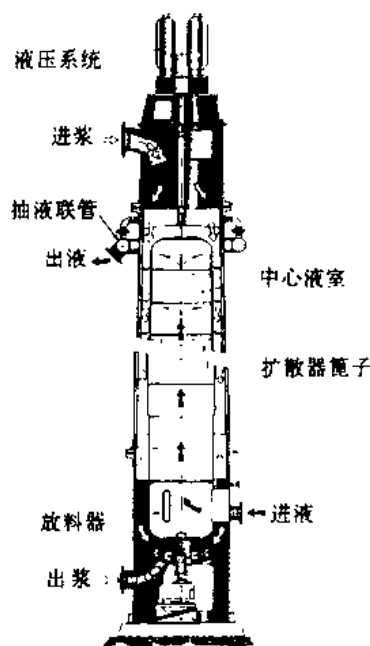


图 9-14 Kamyr 压力扩散洗涤器

稀释与抽提设备

稀释与抽提是最古老的洗浆方法。它只包括浆料用稀黑液稀释以及随后的浓缩。这种洗浆系统的效率取决于入口浆浓与加入到系统的稀释水量之比。老系统由于受浓缩的限制，效率很低，但新型的抽提式压榨机（有若干具有置换洗涤能力），排浆浓度可达 30%~40%。其多段系统可与真空洗浆机相竞争。

图 9-18、图 9-19 和图 9-20 介绍了三种适用的稀释与抽提设备。这种设备特别适用于不易渗透

(此时置换式洗浆机将不是首选设备)的纸浆。

Norden 法

鉴于近几年来不断出现新的洗涤方法以及不同类型洗涤设备串联使用的可能性,将有望给洗涤设备一个与稀释因子无关的效率值。Norden 法⁽⁵⁾已被广泛用于此目的。它假设可将某个洗涤段比拟为若干串联起来的逆流混合段。在某个个别段中,纸浆及其挟带的含固形物液体(从上一段来的)与从下一段来的低固形物洗涤液相混合;然后浆料再浓缩到原先浓度,被分离出来的浆料和液体则逆流去到各自的下一段。

Norden 效率因子是指在同一洗涤液比运

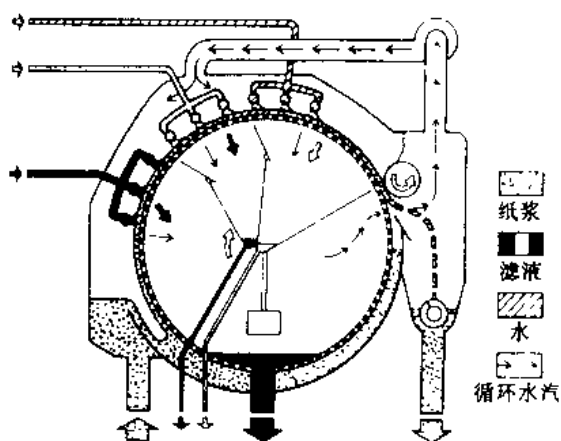


图 9-15 压力洗浆机的基本原理和设计结构
(Beloit Rauma 公司)

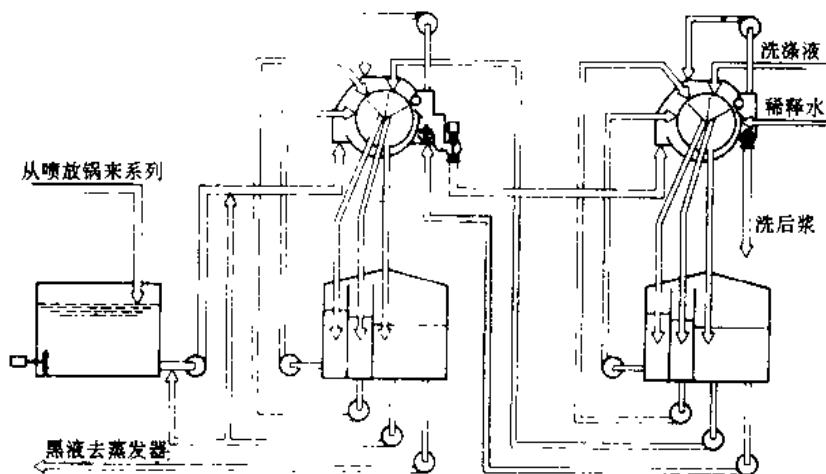


图 9-16 含有两台三段压力洗浆机的流程图 (Beloit Rauma 公司)

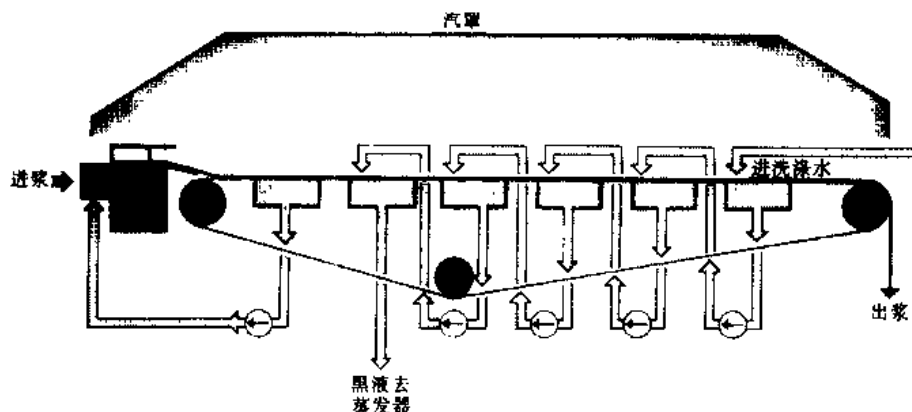


图 9-17 水平带式洗浆机系统简图 (Black Clawson 公司)

行时混合段的 Norden 数,它将给予正在考虑中的洗涤设备那样相同的结果。表 9-2 提供了一个稍有改进的 Norden 效率因子。其数值的范围是不同纤维类型和各种运行条件的自然结果。

可以看到,一个系统的总 Norden 效率是不同组分因素的简单相加。给出了系统的 Norden 效率和稀释因子,就可从图 9-21 得出预测的洗涤效率⁽⁵⁾。

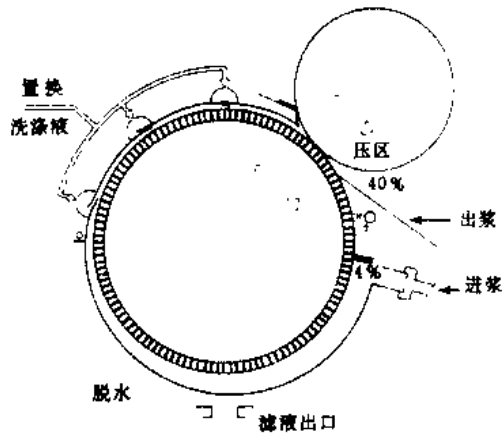


图 9-18 洗涤压榨的操作原理 (KMW 公司)

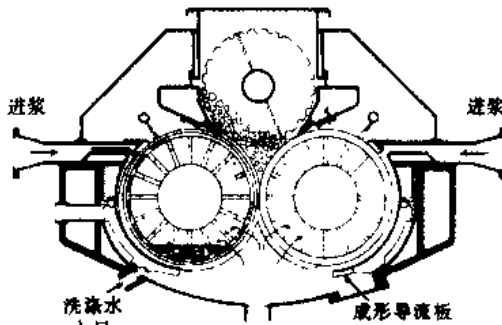


图 9-19 抽提压榨装置 (Impco/Ingersoll Rand 公司)

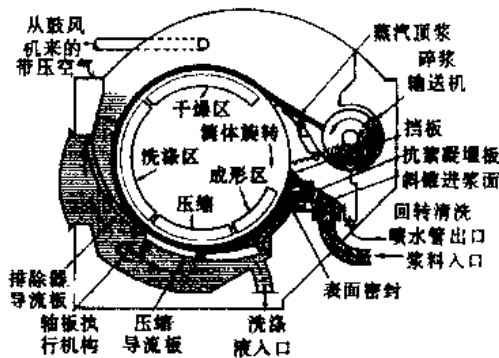


图 9-20 压缩导流板式过滤机断面简图 (Impco/Ingersoll Rand 公司)

表 9-2 不同类型洗浆设备
改进的 Norden 效率因子

	效率因子
真空鼓式洗浆机	2.5~4
单段扩散器	3~5
Kamyr 锯末蒸煮区洗涤区	5~9
Kamyr 木片蒸煮器:	
在高温区 1~2h	4~6
在高温区 3h	7~11

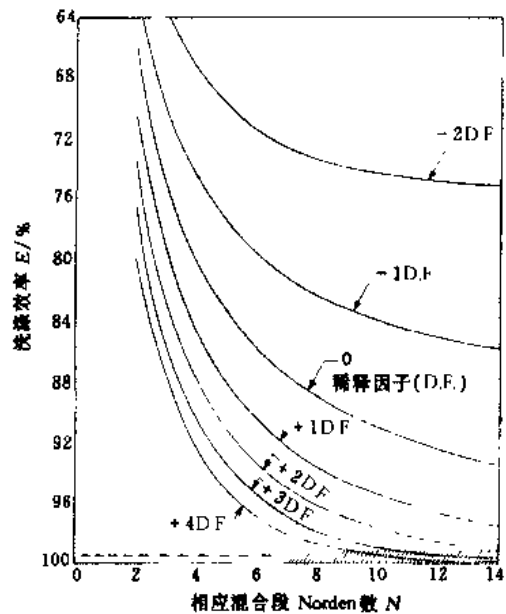


图 9-21 在不同稀释因子和改进的 Norden 数时,系统的洗涤效率

注意: 由于扩散与吸附效应,
99% 以上效率时不适用

9.4 筛选

绝大多数制浆造纸过程都需要有某种浆料筛选作业,以便从合格的造纸纤维中除去过大的、引起麻烦的和不希望有的碎片。主要的筛浆机形式有震动式、重力离心式和压力式(离心或向心型)。它们都跟通过良浆和排除杂渣的筛板形式有关。多数情况下,孔眼(一般为孔或长缝)的大小决定所要除去碎片的最小规格。

所有筛浆机都必须配置某种形式的连续或间断地洁净筛板孔眼的装备。否则筛板就会很快堵塞。目前工业筛浆机所用的洁净方法,包括摇动和振动、液力扫刮作用、反洗或最常见的利用各种转动翼片桨叶使液流脉冲通过孔眼。

典型的筛浆机是种很容易操作的机械。要做到稳定有效的运行,最重要的是保持流量和浓度接近最佳水平。发生故障往往是由于明显的过载或负载不足;而在这些极端状况之间有着很宽广的运行范围。

震动筛

震动平筛实际上曾一度是在制浆造纸厂使用的唯一机型。这种筛选机具有高效的分离作用和浓度较高的筛渣物。但它的许多缺点(诸如开放式结构、泡沫问题、高维护费用、劳动强度、占地面积大)使得除了特定用途外已逐渐被淘汰。它作为尾筛仍是最佳的(因筛渣的浓度高)。在实验室配置的平筛其基本原理相似,主要用于测定浆样的碎片含量。

旋转式震动筛比平筛更紧凑,而且不需操作者特别照看。但维护费用很高也使这种筛选机应用不广。

重力式离心筛

重力式离心筛(图 9-22)解决了许多震动筛存在的问题。这种设计型式利用一个水平式圆筒筛板,上有 3mm 直径以下的筛孔(具体视使用要求而定)。桨叶型转子的作用是使筛板保持洁净。因为这种筛选机没有振动,不需要很重的基础和隔振装置。产生泡沫少,但没有全部消灭。

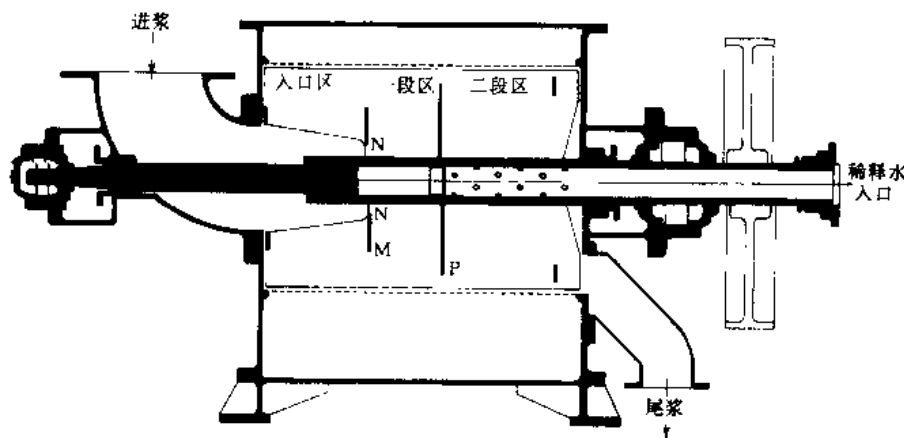


图 9-22 重力式离心筛 (S. W. Hooper 公司)

筛选机的筛选原理部分基于好纤维有一种彻底水合化倾向,且密度接近于水。当低浓度浆料在离心筛中旋转时,纤维本身随流动方向而排列,它优先穿过筛板上的圆孔。粗大片没充分水合化,且密度较低;该因素制约了离心力效应,粗大片就流过筛板作为筛渣而排出。当粗大片轴向移动而形成积聚时,该疏松料层也在某种程度上起到了筛选要素的作用。重力式离心筛已广泛应用于浆料筛选⁽⁷⁾。

压力筛

压力筛的操作原理类似于重力式离心筛。不同的是它们在压力下运行,设备内部径向流动的设计可以是离心式(外流)、向心式(内流)或综合式。它们的优点是单台设备的生产能力高、布置灵活、占地面积小以及管道布置和泵送比较经济。全封闭设计不会挟带空气,并

使粘状物的积聚减至最少。

压力筛最先用于纸机上浆系统，其主要功能是除去粗大杂质和保护纸机成形网。随着设计结构上的改进，实际上所有的细筛系统都已采用了各种不同结构的压力筛。最新结构例示于图 9-23 和图 9-24。

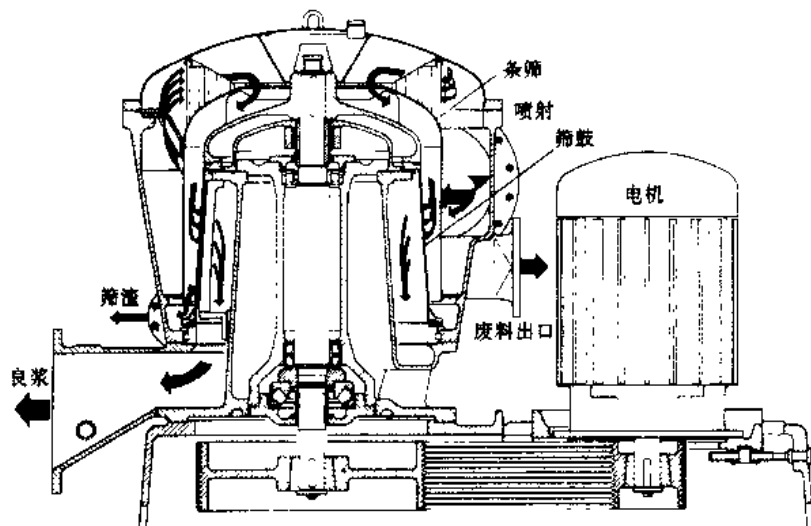


图 9-23 压力筛 (KMW 公司)

所有压力筛都有一个圆筒体和带孔眼的筛板。最通用的清洁筛板装置是旋翼片 (图 9-25)，但根据筛选机结构也成功地使用其他型式的旋转清洁元件。图 9-26 是工业上使用的四种流动模式；至少有两种结构是带内流和外流的同心圆筛板。

除去碎片 (debris) 的机理

已假设了在压力筛中除去碎片的四种可能机理：

(1) 因实际规格而被分离——这仅适用于其所有三个方向都大于筛板孔眼的坚硬粒子。

(2) 碎片的方向性——在某个方向会是合格的长形碎片粒子，由于“前进角度”不合适而被作为筛渣。

(3) 纤维网状结构——在筛鼓内侧的纤维和碎片粒子形成孔眼很小的网状结构，阻止碎片粒子通过。

(4) 流体作用力——筛板孔眼上的细长粒子，由于脉冲因素所引起的流体作用力而被吸回到筛鼓内侧。

大多数研究人员的注意力都集中于头两个机理。浆流形式、筛板孔眼、转子型式和流速、以及浆料浓度等主要设计和操作参数可使由某个机理占优势改变为另一个机理占优势。

结构的选择

新型压力筛的筛板是精密部件。它们通常由 316L 不锈钢或更好的材料制成，在加工完后

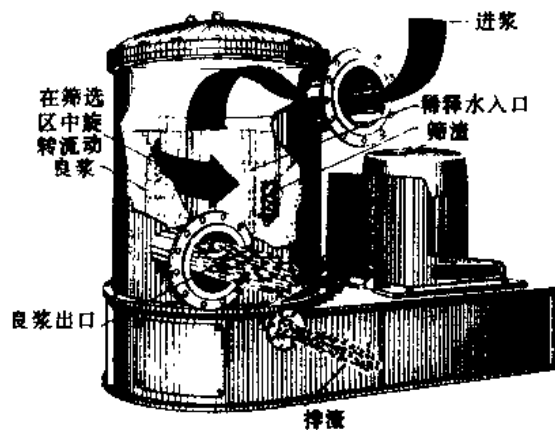


图 9-24 压力筛 (S. W. Hooper 公司)

要进行电抛光以除去有可能引起“挂丝”的残留细小毛刺。根据需要,筛板上可开筛孔或筛缝。

以前都是先在平板上冲出孔眼,然后卷成圆筒体。现今则大都钻成锥形孔眼,即在进浆侧为圆柱形而在良浆侧为圆锥形,以减少浆料穿过厚钢板时的压力降。沿回转方向的孔间距必须足够大,以避免在两个孔眼之间的“U形”纤维。有鉴于此,细筛的开孔面积率可以低至10%。

筛缝通常用合乎需要的标称缝宽锯切机加工而成。跟筛孔一样,只有靠进浆侧的一小部分板厚是标称缝宽;靠良浆侧一般改用缝更宽些的锯切机以减少压力降。筛缝方向垂直于转子旋转的方向,以使长规格的碎片粒子被筛缝挡住。缝宽往往小于孔径,所以对除去小颗粒状碎片更为有效。但缝筛的开孔面积率一般为3%~7%范围,所以通过量低于带筛孔的圆筒。由于结构稳

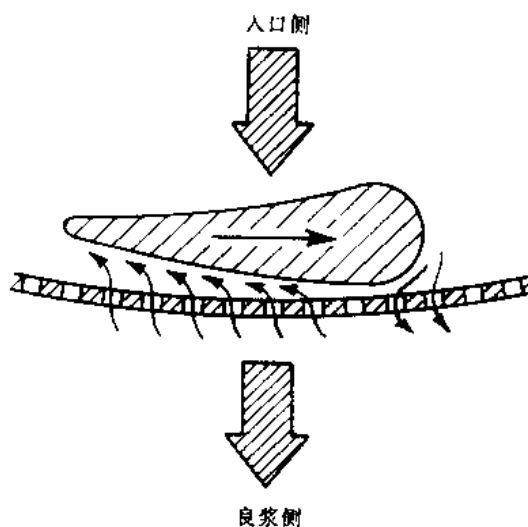


图 9-25 列示了典型的压力筛工作原理
旋翼的前沿使浆流加速,旋翼下面的负脉
冲则产生瞬间逆流,有效地冲刷筛孔

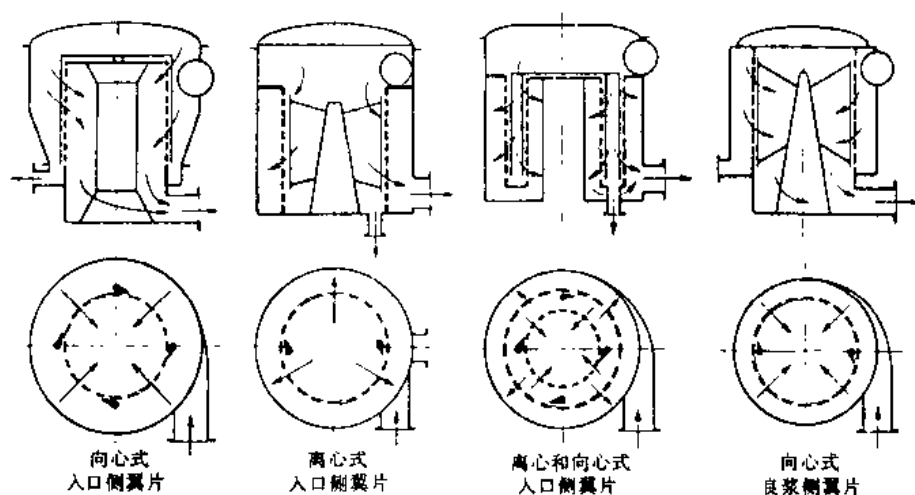


图 9-26 四种压力筛的浆流模式

固性较低,缝筛板都用厚板制成。

在20世纪70年代后期和80年代前期引入了具有仿形面(contoured surfaces)的筛鼓,仿形面结合转子的作用,有助于产生微湍动,以破坏纤维层并使其流态化。这种作用允许孔眼在形成纤维层以前通过更多的纤维。仿形面筛鼓通常比平滑面的筛鼓有更大的通过量,可处理更高的进浆浓度和更低的筛渣率。仿形筛鼓使用各种不同的仿形程度。流态化效应及其他效应取决于表面仿形的程度以及转子的结构和转速。

筛选使用性能的测定

测定筛选效率通常采取两个指标。(应用取自TAPPI TIS 0605-04的术语):

(1) 除渣效率(Debris Reject Efficiency) (E_R)

$$E_k = \frac{S_r}{S_i} \cdot R_w$$

式中 R_w ——筛渣率，入口质量流量的十进位部分 (decimal portion)

S_r ——筛渣流量中的碎片质量，%

S_i ——入口流量中的碎片质量，%

(2) 净化效率 (Cleanliness Efficiency) (E_c)

$$E_c = \frac{S_r - S_a}{S_i} = 1 - \frac{S_a}{S_i}$$

式中 S_a ——良浆流量中的碎片质量，%

注意： S_a/S_i 比称为净化比。

对大颗粒碎片，效率可为 100%。对中等规格碎片，效率受筛渣率 (R_w) 的影响很大。重力式和压力式筛浆机都要求有较大量的筛渣率，以确保在良浆中有很低的碎片含量。其典型关系列示于图 9-27。效率的数值并没有什么意义，除非要确定效率测定的本身和要报告筛渣率时。显然，对不同筛渣率的两种筛浆机的效率不可能进行有意义的比较。

为了解决各个筛选性能指标所固有的问题。Nelson⁽⁸⁾建议使用 E_c/E_R 比，他将其称之为“筛选系数” (Q)。主要优点是 Q 对筛渣率的改变相当敏感。下列等式也是正确的，即：

$$Q = \frac{S_r - S_a}{S_r}$$

式中 S_r 等于筛渣流量中的碎片质量， S_a 等于良浆流量中的碎片质量。两者均以质量百分比表示。因此只要取两个浆样并进行分析，就可标出 Q 。

测定浆样中碎片含量的传统方法有赖于在实验室中进行彻底的筛分，然后再将良浆和尾浆干燥并称重。通常使用缝宽为 0.10 ~ 0.25mm 的

Somerville 式或 Valley 式实验室平筛。还有其他方法，是使用 Palman 纤维束分析仪、Van Alfrhan 纤维束分析仪或 PFI 小纤维束分析仪。最近，电子图像分析仪已可使研究者快速测定碎片含量，而不必再做费时的“湿法”测试。

当筛浆机筛除碎片时，联带地筛除了长纤维。筛浆机的这个特征有时被利用来进行浆料分级。如果确定了长纤维比例，就可利用跟碎片一样的公式定量地测算出长纤维的筛除率。因为对大多数应用场合，都希望有最大的筛选效率 (除渣效率， E_R) 和最小的长纤维除去率 (L_R)，已经建议，可借在一定筛渣率情况下 E_R 与 L_R 之间的差值测算出“筛选质量”。不同系统之间“筛选质量”的比较，只有在被比较浆料的规格尺寸分布相类似时才有实际意义。

影响筛浆机性能的变数

影响筛选的主要设计和操作变数归纳示于表 9-3。这些变数许多都是密切相关的。例如，在高浆料浓度下操作和 (或) 使用大规格孔眼时，将增加产量，但要以牺牲筛选效率为代价。当以高效率为主要目的时，建议使用缝筛和最小的孔眼开口，这些经验已表明，在特定纤维和碎片形式时工作得最好。

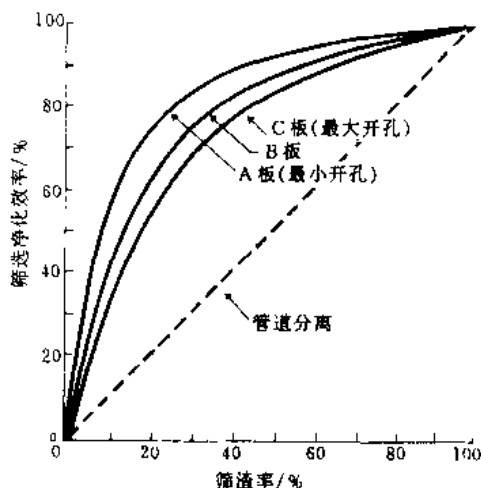


图 9-27 筛渣率和筛板开孔对筛选效率的影响

后的尾浆中的纤维束或渣子常常磨碎成合格纤维，只从磨浆后的离心净化系统排出尾渣。但在纸浆中有周期性塑料杂质历史的高质量漂白硫酸盐浆厂，要避免磨浆，而且要将系统中最后段排除的尾渣，或作燃料烧掉或送去填地。

如果需要，浆厂可实行更高级的筛选和磨后尾渣处理流程。例如在图 9-29 中所列举的，利用两个串联的一段筛，并直接将洁净的磨后原浆加入到良浆系统中。在两个一段筛串联使用时，通常最好的是第一级用孔筛板、第二级用缝筛板。

9.5 离心式净化 (Centrifugal Cleaning)

直至 20 世纪 40 年代，通常都以沉砂盘将高密度的杂质（如砂石与尘粒）从纸浆悬浮液中除去。这种设备基本上就是一个改良的沉淀池，低浓度浆料缓慢地在里边沟渠中流动，将重物沉淀下来。这类装置笨大、低效，且频繁要用人工清扫。

使用离心净化器是一种较好的方法。传统的离心净化器（图 9-30 所示）是在 1891 年获得专利的，但直到 20 世纪 50 年代还没有普遍应用。这种离心净化器也可称为液体旋沉器 (liquid cyclone)、水力旋沉器 (hydroclone)、涡旋净化器或简单地称为中心净化器 (centricleaner)。它由锥体或筒锥体压力容器组成；在锥部或筒部的最大直径处有一个切向进浆口，在大直径一端轴线中心还有一个良浆出口管，在其对面一端或最小直径端是排尾渣口。

离心净化器借离心力和流体剪切的综合作用，从制浆造纸的浆料中除去不希望有的粒子。因此它的分离作用是基于密度差异和粒子形状。所有离心净化器的工作原理是借压力降所产生的自由涡流，形成离心作用力，其动力源是泵。浆料在净化器的切向进入，入口的涡形道引导浆流形成一个旋转运动。随着浆料向内运动，速度加快，造成靠近中心部分的高离心作用力，该作用力挟带重粒子向外运动并脱离良浆。好纤维向内运动，并向上去良浆出口。向下流动的尘粒则不断去向尾尖部。随着直径变窄，浆流被迫内向以对抗不断增加的离心力（为重力的几百倍），它将尘粒集中并释出好纤维去到良浆流。

小直径净化器形成的离心力最高，且对除去不同形式的小尘粒最有效。如果净化器主要是除去较大的低密度粒子（例如纤维束和浆块），就像在抄纸上浆系统那样，则大直径净化器被证明更为有效。关于两种不同直径净化器，其粒子规格和形状对效率的影响比较示于图 9-31。

在离心净化器中心部分的全长，借水力流动模式而形成稳定的气芯。气芯的直径取决于净化器的规格、净化器的操作条件以及浆料中的空气含量。如果下流锥尖部直接暴露到大气，净化器将抽吸额外的空气上到气芯并随良浆排出；这在某些使用场合可能造成麻烦，特别是在去纸机的上

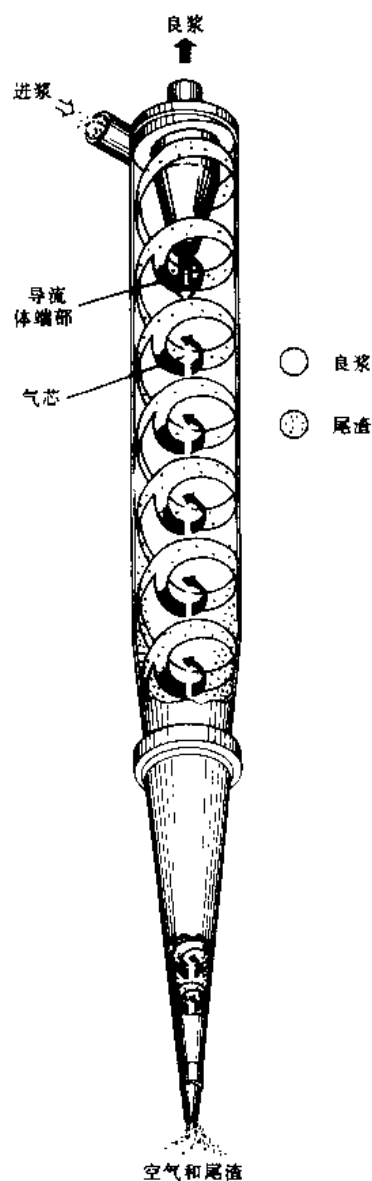


图 9-30 离心净化器简图
(Bird 机器公司)

浆系统。

在净化器内除了上述基本流动模式外，还产生许多消耗水力能量和降低净化效率的涡流。制造厂千方百计改进净化器的基本结构，以力图减少解决这类流动模式。

影响净化器使用性能的变数（表 9-4）

离心净化器的使用性能一般根据其除去尘埃粒子的能力估算（用效率表示）：

$$\text{效率} = \frac{\text{尘埃数}_{(\text{进浆})} - \text{尘埃数}_{(\text{尾浆})}}{\text{尘埃数}_{(\text{进浆})}} \times 100\%$$

与筛浆机一样，除去尘埃的效率明显地受排弃掉多少浆料的影响。因此，在不同尾浆率（reject rate）的净化器之间进行比较，可能会产生误导。尾

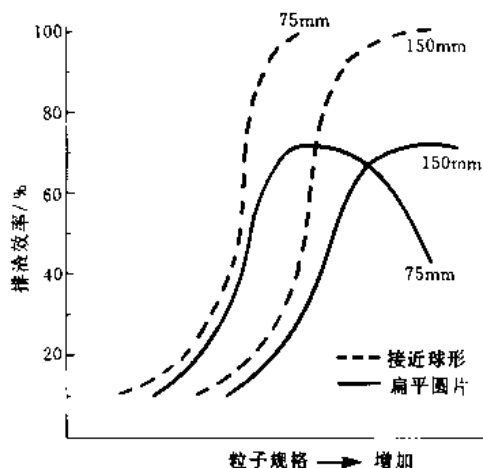


图 9-31 粒子规格和形状对排渣效率的影响
（离心净化器规格 75mm 和 150mm）

表 9-4

影响离心净化器使用性能的变数

浆料特性	净化器结构	操作变数
<ul style="list-style-type: none"> 纤维形式 杂质的特征（规格、形状、密度） 尘埃度 	<ul style="list-style-type: none"> 本体直径 进浆口形状 良浆管口与涡流定向管（Vortex finder）直径 圆筒部高度 锥体角度 螺旋沟纹的应用 控制排渣率的方法（固定孔口和背压） 	<ul style="list-style-type: none"> 浆料流量 通过净化器的压降 进浆浓度 尾浆率 浆料温度 浆料中空气 淘选（如若使用） 背压 排渣室结构

浆率一般是在 10%~20% 范围。有些净化器在锥体下部附有一个“节浆器”，此时若干好纤维利用稀释水的“淘选”作用又返回到净化器中心。

在表 9-4 列出了主要的设计和操作变数。净化一般在相当低的浓度（低于 1%）下进行。如浓度超过此水平过多，在多数情况下均对效率有负面影响。压降的数量决定于净化器的液压容量（hydraulic capacity）而且是形成多大离心作用力的衡量值。多数净化器的压降为 0.21~0.25MPa。操作变数的更全面讨论见参考文献（11）。

操作故障

净化器的主要操作故障是排渣口被外来杂质、纤维块或高浓浆所堵塞。排渣口的规格一般设计成使尾浆保持在合理水平，但有时必须增加排渣口以避免堵塞。由于在锥尖部的浓缩作用，尾浆浓度可比进浆时大 3 倍；有时可降低进浆浓度以减少堵塞情况。有些净化器装置用大直径离心净化器加以“保护”。以除去可能堵塞小净化器的粗大杂质（见图 9-32）。

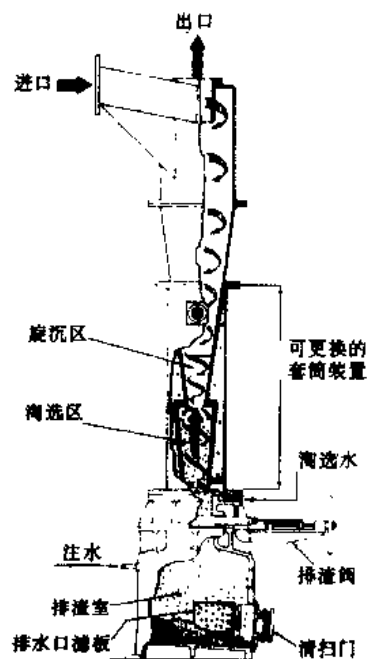


图 9-32 为排除重废料而设计的离心净化器（Black Clawson 公司）

有时在净化器前头设置去絮凝块的筛浆机,有助于消除可造成堵塞的纤维块。

净化器的布置

净化器跟筛浆机一样通常都是串联使用的。由于加大尾浆量才有良好的运行效率,就必须多增段数以浓集尾浆流中的尘粒,并使好纤维返回系统。一个三段布置的净化系统示于图9-33。尾浆纤维量一般低于1%

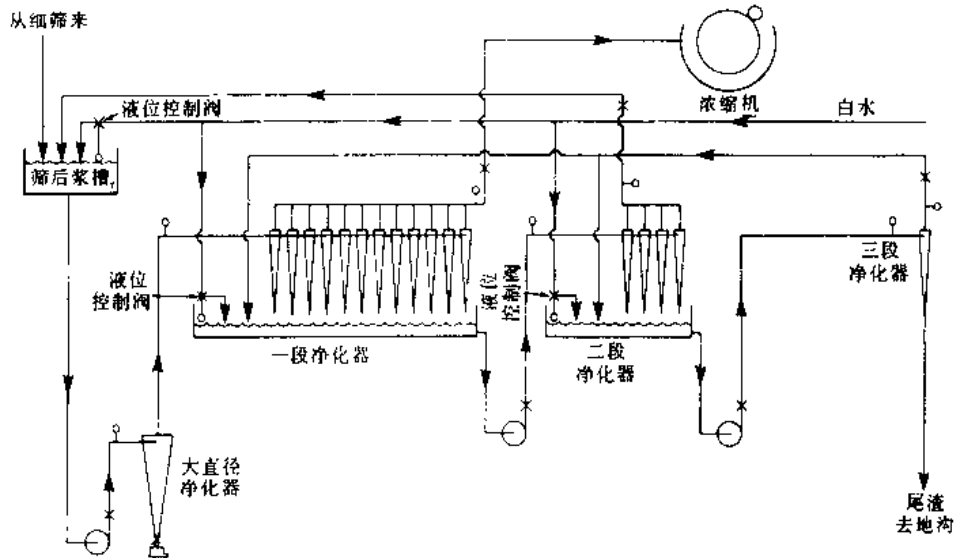


图 9-33 三段离心净化系统流程 (Sproat Bauer 公司)

早期的净化器装置包括大量敞式垂直布置的各个净化器,以软管连接到进浆联管与良浆联管上,并敞口排入尾渣槽。图9-34示出一列改进后的敞式垂直布置的净化器组。大多数新型装置都是不同结构的外罩与箱盒中集群装配的净化器组。堆叠式水平布置的净化器组明显节省安装空间,而封闭性结构则起到了良好的保护作用。新型外罩及单个净化器装置的例子示于图9-35和9-36。

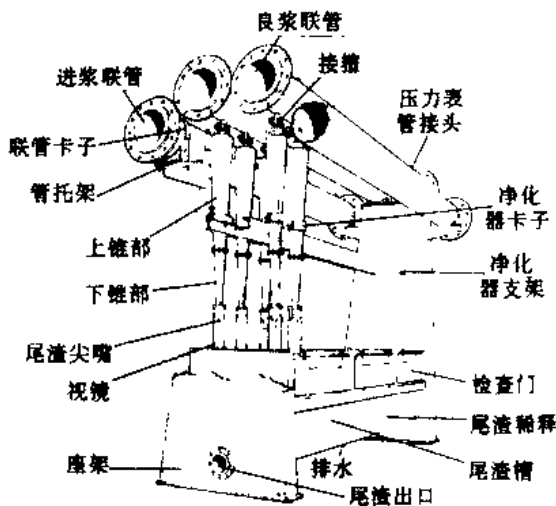


图 9-34 立式离心净化器安装图
(Hymac 公司)

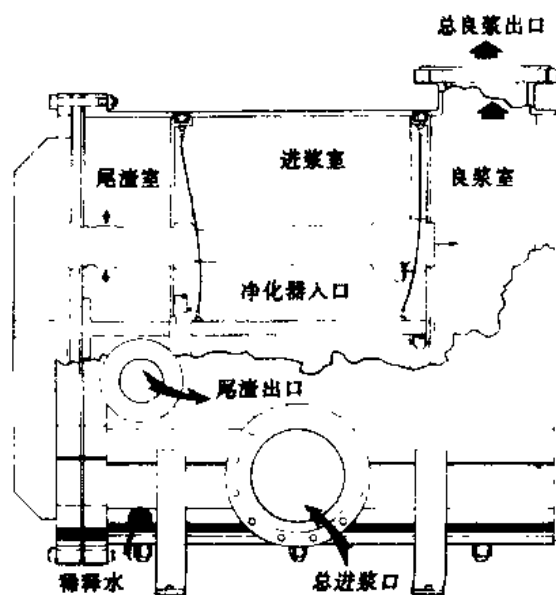


图 9-35 新型带外罩的离心净化器
(Black Clawson 公司)

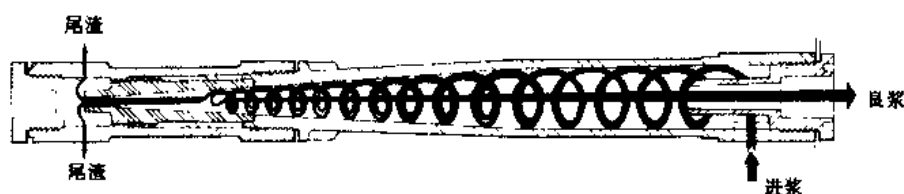


图 9-36 安装在套筒中的单个净化器装置 (Black Clawson 公司)

几种改型设计

在制浆造纸工业中使用三种离心式净化器。原先用以除去重碎片(相对密度大于1)的用途都使用传统结构的离心净化器,这种净化器现在更确切地被称为“前向式净化器”。前向式净化器仍是最大量使用的装置。

反向式(reverse-flow)与贯通式(through-flow)净化器主要用于在二次纤维制浆中除去轻碎片(相对密度小于1)。反向式净化器的普遍应用是在20世纪70年代晚期,但自20世纪80年代中期由于要求减少压力降和降低水力排渣率⁽¹²⁾已被贯通式净化器所取代。图9-37示出了这三种净化器的流向和典型浓度。

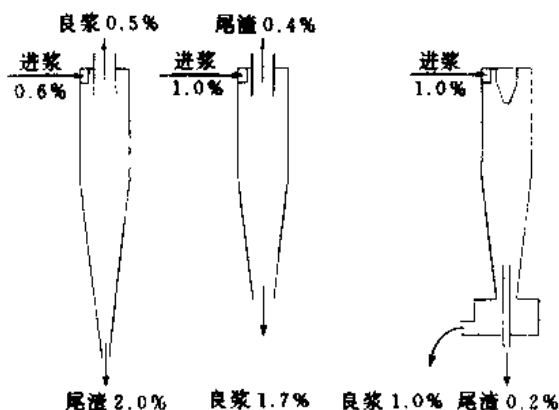


图 9-37 前向式、反向式和贯通式净化器的浆流方向和典型的操作浓度

9.6 浓缩

在诸如净化和筛选的低浓度作业之后,必须在下一个工序前将浆料浓缩(有或没有洗涤作用)。根据需要可使用各种浓缩装置(见表9-5)以达到目的。

表 9-5 可使用的浓缩设备

设 备	出口浓度/%	洗 涤 能 力
脱水机	3.5~4	无
重力式浓缩机	1~8	无
无阀过滤机(内水腿)	9~12	若干
真空过滤机	12~15	大
多盘式过滤机	10~12	无
螺旋挤压机	>20	无
各种压榨装置	>20	无→大

多数情况下,要求将浆料浓度增加到4%~8%范围。为此,常使用重力式浓缩机(gravity thickener)(通称圆网浓缩机),如图9-38所示。水流入网笼是借助于网槽与网笼之间的液位

差；纸浆滞留在回转的网笼上并受到橡胶辊的挤压。

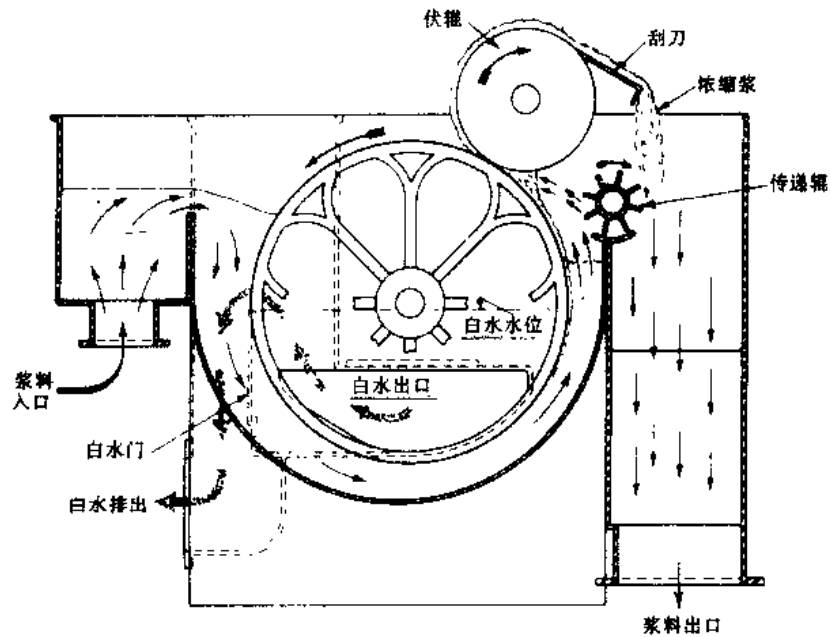


图 9-38 重力伏辊式浆料浓缩机 (Black Clawson 公司)

较少见的是，浆浓增加到 3.5%~4.0% 范围已够了，这可用脱水机 (slusher) 达到目的。这种浓缩机除了没有伏辊外与上述浓缩机相类似。浆料相反地从网槽内侧经过脱水区移送到网槽的另一侧，在此处将浓缩浆排出。一般还辅之以连续喷水管。其操作原理与重力浓缩机的比较示于图 9-39。

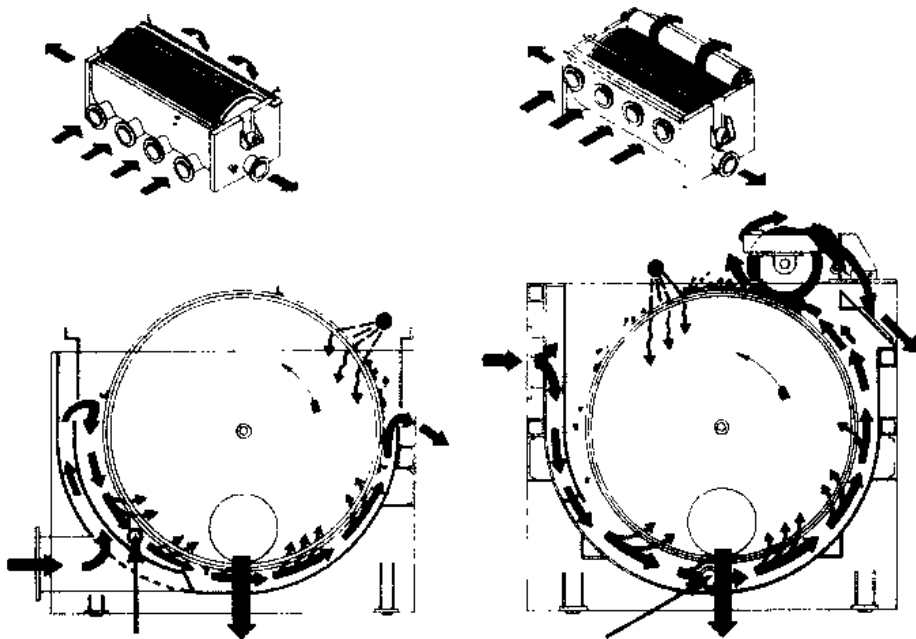


图 9-39 脱水机与重力浓缩机的比较 (Hymac 公司)

对中等程度的浓缩 (10%~12%), 可使用所谓无阀过滤机 (图 9-40 和图 9-41)。当从 0.7% 以下的低浓度浓缩到 10%~12% 浓度时, 需要两段浓缩, 如图 9-42 所示。

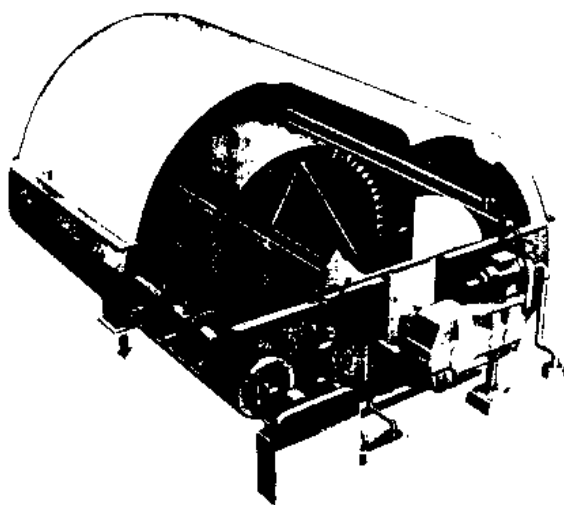


图 9-40 带内水腿的无阀过滤机
(Black Clawson 公司)

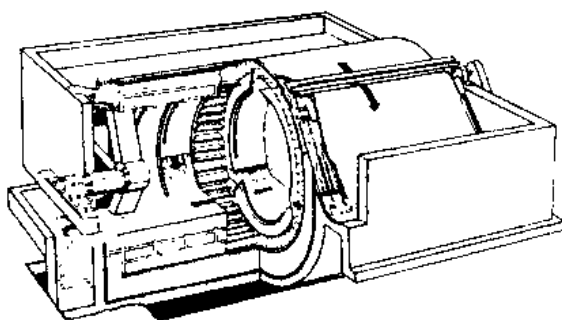


图 9-41 无阀真空过滤机
(Impco/Ingersoll Rand 公司)

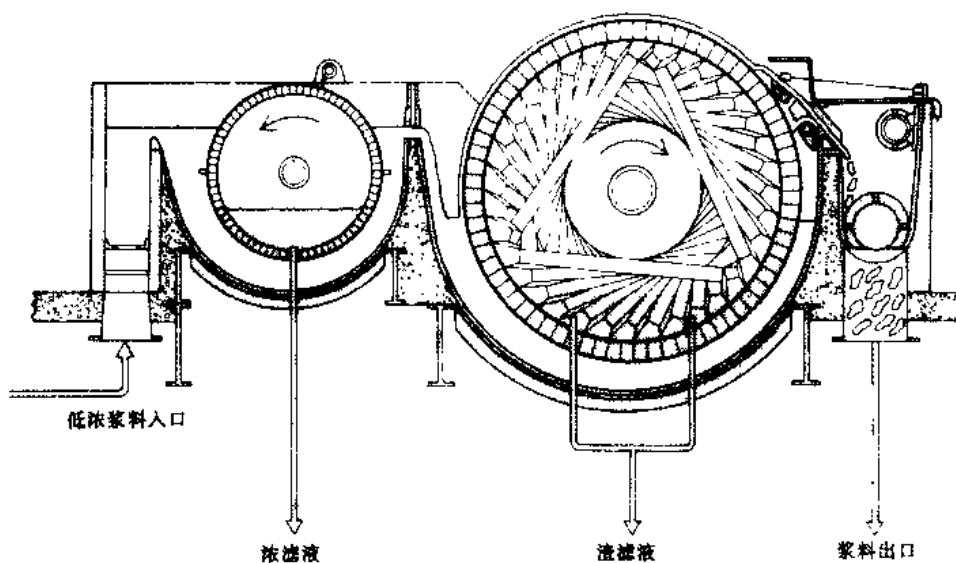


图 9-42 包括脱水机和无阀过滤机的两段浓缩系统 (Beloit 公司)

要想获得 12%~16% 的浆浓并洗涤浆料, 就必须使用真空洗浆机。所有这种洗浆机设备均在成形和洗涤区施加真空抽吸力, 然后利用内阀装置切断真空, 使浓浆得以排出。典型做法是利用滤液进入一个水封槽的落差而形成抽吸效应 (参见图 9-43)。借卸料辊或刮刀从洗浆机网笼上脱除浆饼层。常在重新没入网槽前用喷水管冲洗面网。

真空洗浆机在内阀布置上的设计是各不相同的。在图 9-43 中, 阀是固定在网槽的某一端。在图 9-44 中, 独立的箱型阀是固定在网笼的外圆上。图 9-45 中, 阀是借通过后轴耳的夹紧装置固定住的。以前曾列示过的另一种设计 (参见图 9-4), 是利用一个直接位于轴耳上的阀。

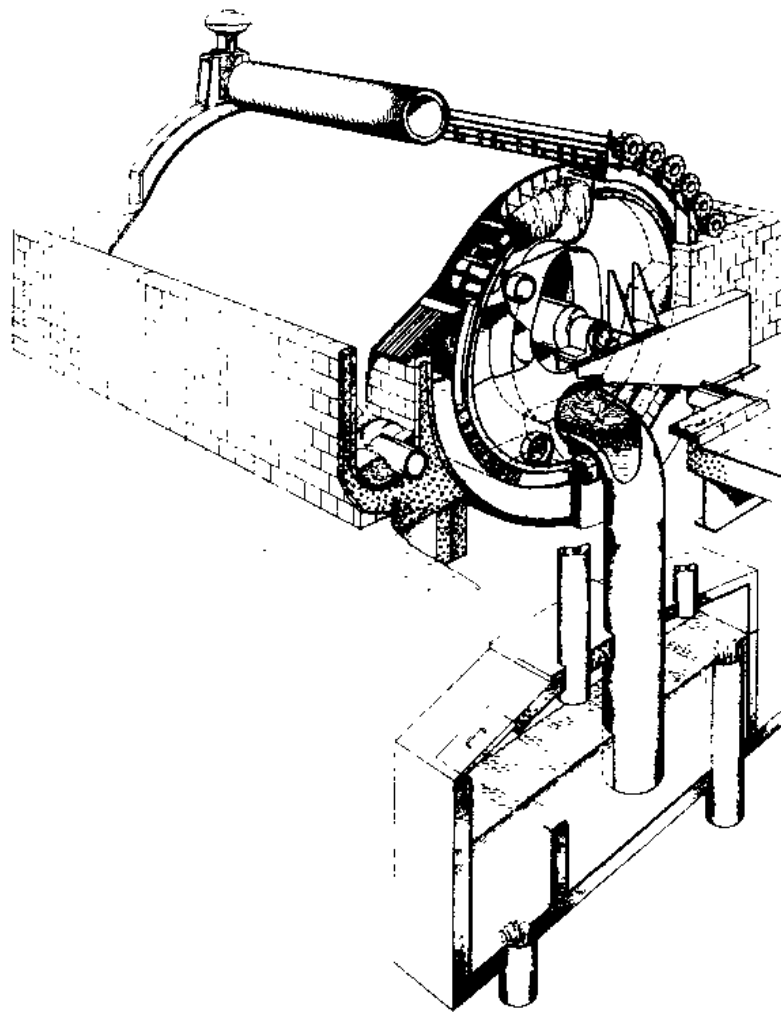


图 9-43 显示出水管和水封槽结构的真空洗浆机 (Sandy Hill 公司)

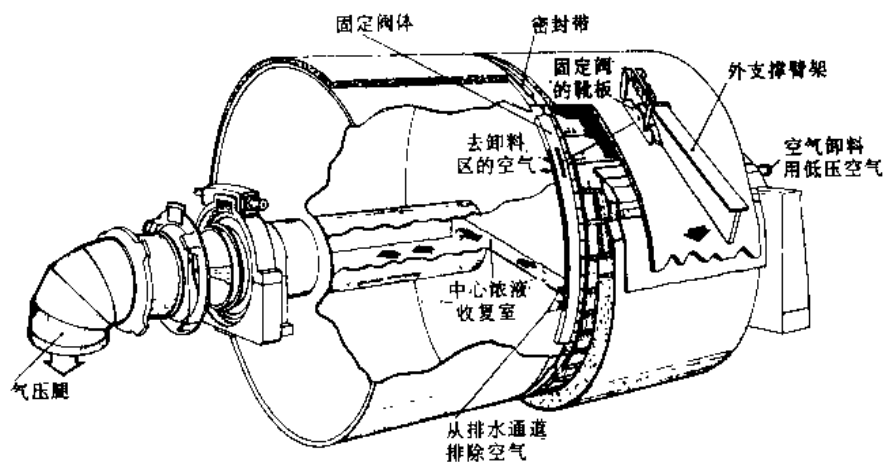


图 9-44 圆周阀真空过滤机 (Impco/Ingersoll Rand 公司)

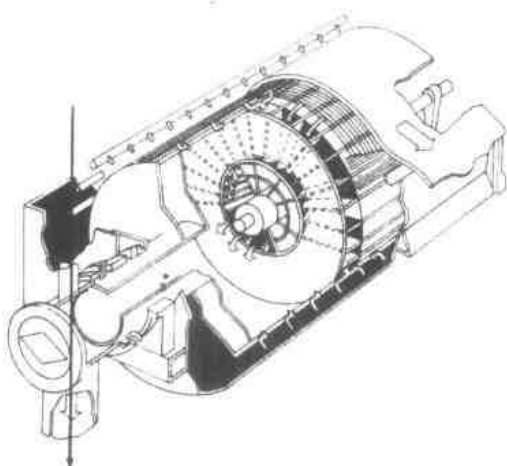


图 9-45 中心阀真空过滤机 (Dorr-Oliver 公司)

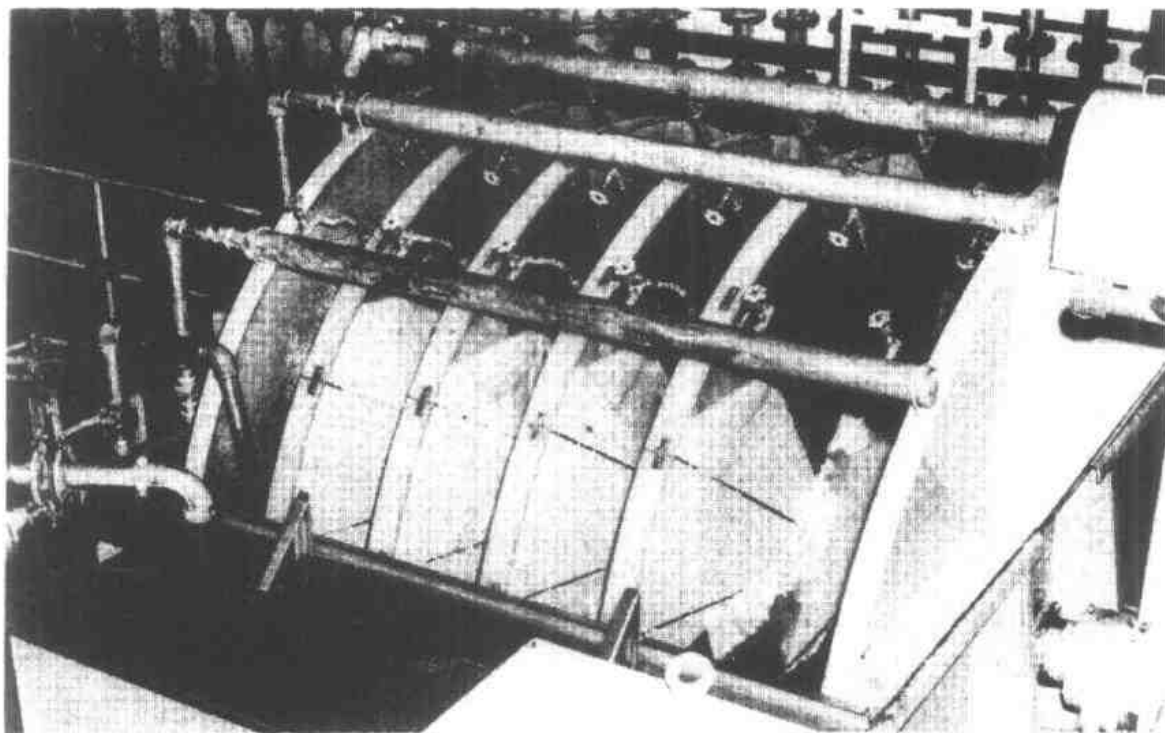


图 9-46 用作纸机白水回收的多盘式过滤机 (Impco/Ingersoll Rand 公司)

对于直接将很稀的浆料浓缩到 12% 浓度, 可使用示于图 9-46 的多盘式浓缩机。随着圆盘浸没入浆料槽内, 每个扇形面上形成浆层。全部浸没后, 施加真空并沉积更多的纸浆, 同时滤液则从浆层排出。最初的滤液相当浓, 可分离出来 (借侧阀的作用) 作稀释之用。以后的清滤液, 含纤维很少, 可用作喷水管的水。浆层从浆料槽露头后进一步脱水并最终借冲网喷水管从过滤机上除掉。多盘式过滤机最常用作白水回收装置, 即从白水中回收细小纤维并将水回用。

为了获得 15% 以上浓度的浆料, 常使用某种形式的螺旋挤压机或压榨装置。螺旋压榨机的典型例子示于图 9-47 和图 9-48。

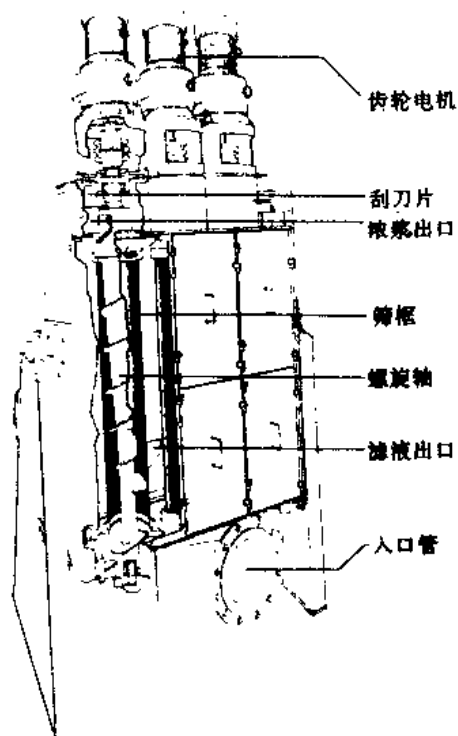


图 9-17 螺旋挤压机 (Hymac 公司)

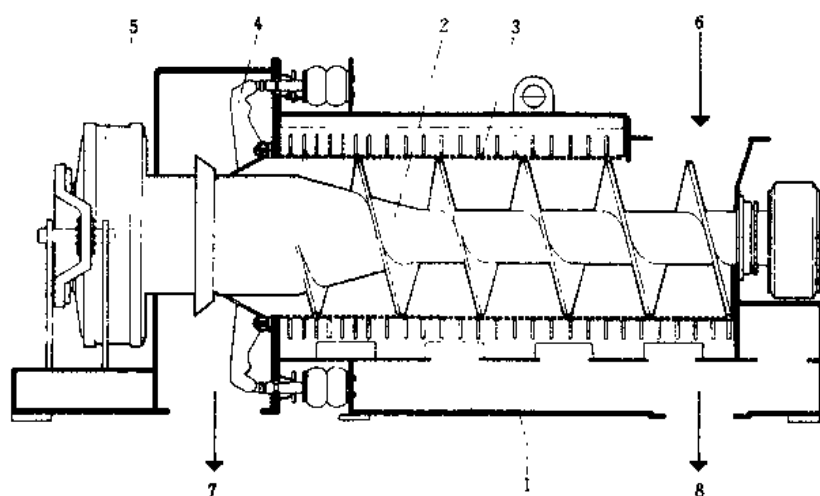


图 9-48 纸浆悬浮液脱水用的螺旋压榨机 (KMW 公司)

1—外壳 2—螺旋 3—筛网 4—排出装置 5—传动装置 6—入口 7—出口 8—滤液

9.7 浆料的泵送

浆料经各道工序而有效地运送是制浆造纸厂的关键。没有一个工厂没有可靠的泵送装置而可以成功地运行的。由于离心泵只有一个运动部件，而且常用同步电机直接带动，它们有可能用于浆料浓度 6%~7% 以下的任何地方。制浆造纸厂浆料用的离心泵仿照传统的水泵设计 (图 9-49)，但通常

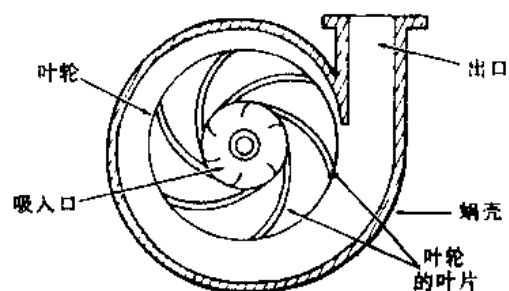


图 9-49 典型的离心泵

有外形经过改进的叶轮(图 9-50)和较宽的间隙,以有助于浆料流经泵内通道。当选定泵结构时,有几个重要因素必须考虑,这就是浓度、纤维长度、浆料游离度和助剂的存在。

对于高浓浆的泵送,传统上使用若干特种的设计结构。图 9-51 示出一台双啮合转子泵的视图。图 9-52 为一台双转子螺旋泵的剖视图。图 9-53 展示一台可处理很宽范围的直至 30%浓度的单传动泵。这些泵都是变容泵并产生若干脉冲;它们都需要使用喂料溜槽或竖管。典型的用法是当鼓式或扩散式洗浆机来的纸浆,落入一个溜槽时,将其泵至系统的下一段。可惜的是,这类装置不可能直接从浆槽或漂白塔泵送高浓浆料。

中浓技术

传统上,从高浓贮浆槽或漂白塔排出与输送纸浆,都包括底部稀释、高效混合、以及

辐流型
(只用于水)



改进型
2%以下低浓浆料



开放型
5%以下浆料



改进型
4%以下浆料浓度



图 9-50 输水和浆料用的离心泵叶轮
(Black Clawson 公司)

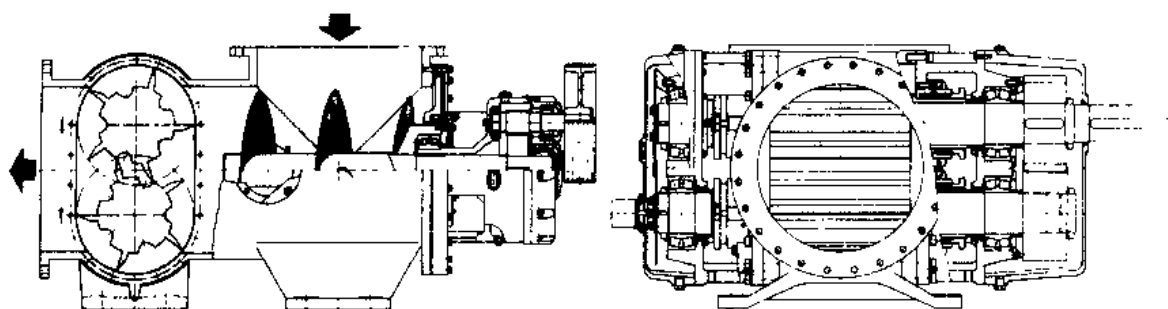


图 9-51 双啮合转子的高浓浆泵 (Beloit Rauma 公司)

大量低浓浆料泵送等程序。纸浆往往必须在去下一个工序前进行再浓缩。这些输送系统要有附属的滤液槽、稀释液泵、控制装置等,既增加投资又增加能耗。长期以来造纸工业就企图开发一种单一的机械,用它可从贮槽直接抽出并输送浆料,而无需先行稀释又加以浓缩。

20 世纪 80 年代前期,Kamyr 公司根据芬兰 Johan Gullichsen 的研究工作⁽¹³⁾开发出的新设备系列,使得在这方面出现了突破。很快开发出了许多竞争性的中浓泵和中浓混和器,工厂安装的数量猛增。所有设备工作的基本原理都是相同的:即它们产生出很高的剪切作用力,将 12%浓度以下的纸浆悬浮液流态化,使其行为类似牛顿流体。由于保持低有效容积,能耗很低。Kamyr 中浓装置的基本工作原理如

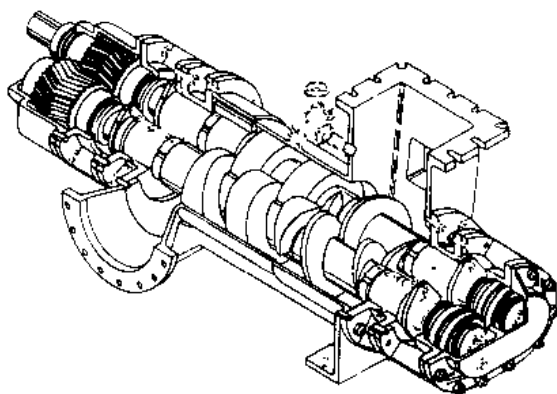


图 9-52 高浓浆泵 (Warren 制泵公司)

其行行为类似牛顿流体。由于保持低有效容积,能耗很低。Kamyr 中浓装置的基本工作原理如

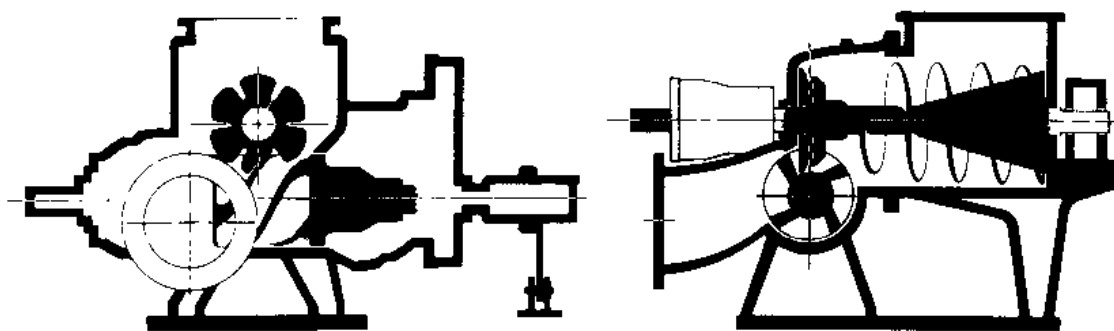


图 9-53 高浓浆泵 (Impeco/Ingersoll Rand 公司)

图 9-54 所示。注意, 分离出空气并将它排除掉是系统的重要特征, 因为否则空气将在泵内积聚。图 9-55 示出一台有竞争性的泵送装置。

同样的原理现已应用于开发中浓 (8%~15%) 筛选纸浆悬浮液的装置。筛选分离作用的先决条件是其彻底除去悬浮液内节子、纤维束和其他碎片的能力。这在低浓状态下是很容易做到的, 但也可在分离筛面上施加高强度剪切作用力, 使悬浮液彻底流态化而加以完成。中浓筛浆机在机械浆工艺中有特别重大的影响。因为中浓纤维悬浮液的流

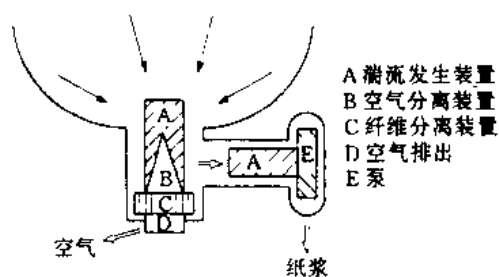


图 9-54 Kamyr 中浓泵简图

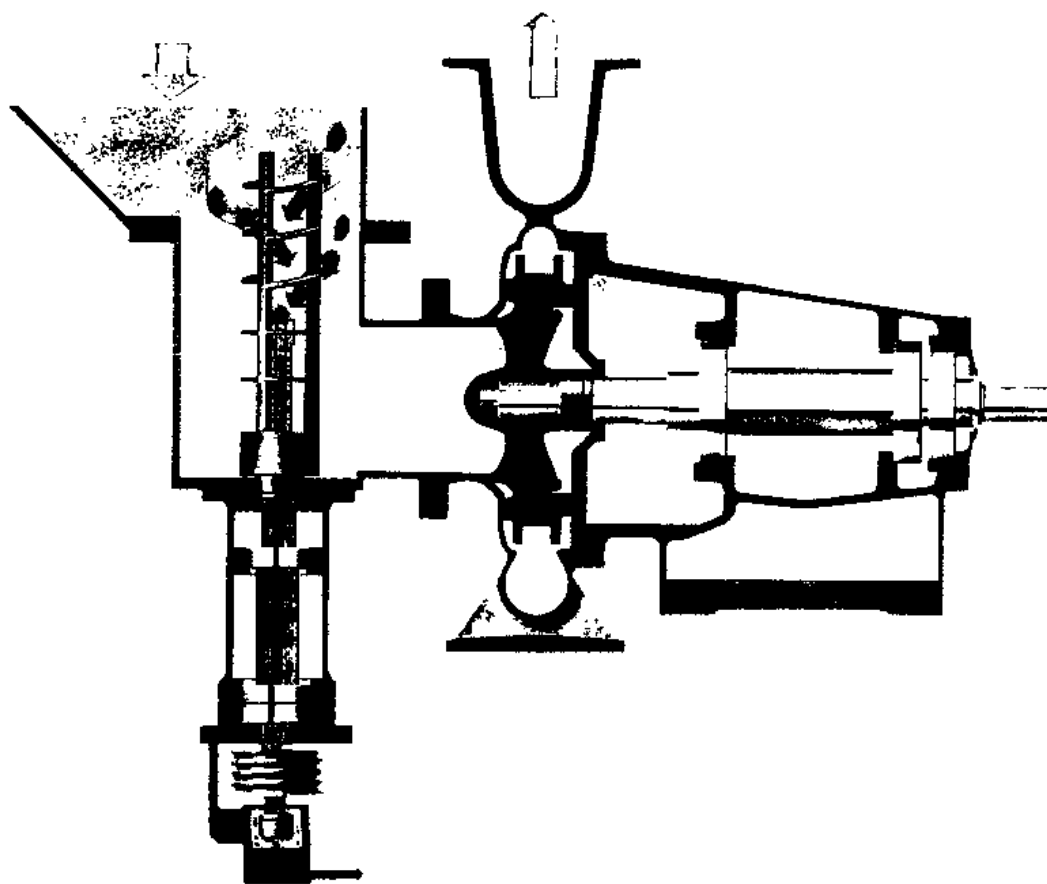


图 9-55 中浓泵 (Andritz 公司)

态化可起到消潜作用,不必使 RMP、TMP、CTMP 或 CMP 生产线的任何部分处在低于 10% 的浓度下。这项改变可大大减少对脱水设备的需要。

9.8 纸浆的贮存与混合

制浆造纸厂在生产过程的适当地点贮存浆料,以提供缓冲能力,以及容许供应或需要有一定的中断。一家机械浆厂只是在生产过程的终端可能需要真正的贮浆量。但在一家漂白浆厂,由于在生产过程的好几个地点都有可能发生重要故障,至少在蒸煮和漂白后是需要有贮浆能力的。通常喷放锅可提供几个小时的贮存量,它为保证间歇式蒸煮锅去本色浆洗浆机有一个稳定的浆流是特别重要的。(也参见 12.2 节)

图 9-56 示出一个传统的高浓贮浆槽(即 12%~15% 浓度)和泵送装置。浆料通常从洗浆/浓缩机送来,落入贮浆槽的上部。纸浆然后像塞子一样,基本上没有交混地向下移动。在贮浆槽底部一台侧装搅拌器提供混和的能量,环绕圆周边的许多喷嘴供给稀释水。这种被称为“区域性搅拌”的装置,将纸浆浓度降低到 4% 以下 1/10 的水平,以适应于传统的泵送方法。在泵的吸入口还另外加入稀释水,以便更精确地控制浓度。

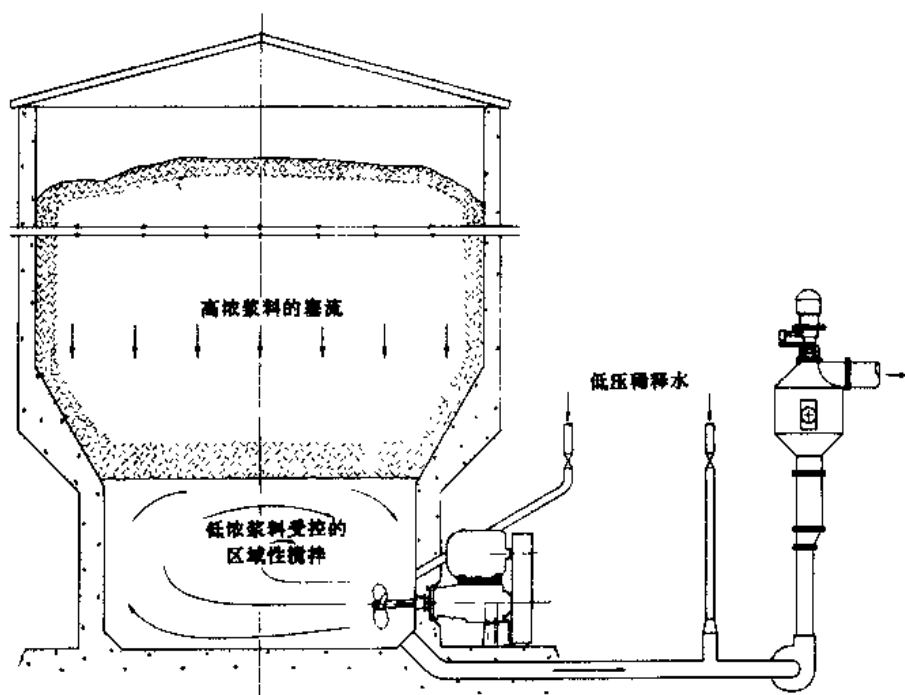


图 9-56 列示出泵送区内区域性搅拌的高浓贮浆系统

(Greer 混和设备公司)

在利用最新中浓技术(参见前节)的新型装置中,其配置非常简单。中浓浆泵可直接联接到贮浆槽而无需稀释区。

混和

由于不均一的木材配比以及制浆工艺的波动,往往使机械浆与化学浆的质量和加工性能产生相应的波动。造纸工作者充分认识到,在纸机前头浆料的彻底混和对于避免生产失常和生产出均一成品是很重要的。因此,在制浆厂内,混和作为一个工艺备选考虑常被忽视是令

人惊奇的。

在漂白硫盐浆厂,混和的合理地点是在筛选后和漂白前。在这里混和将显著地减少 Kappa 值的波动,并使得有可能更好地进行漂白控制。理想的配置是一个在浓度 4% 以下可提供 3~

4h 停留时间的大贮浆槽,并有充分的搅拌以保证高翻转率。

图 9-57 和图 9-58 示出在贮浆槽内部的某种混和方法。另一个利用新颖槽型设计的低浓浆料混和方法示于图 9-59。

在生产过程的某个阶段有一个以上高浓贮浆槽的工厂中,可利用串联装槽并以并联形式抽浆方法以达到混和目的。在利用中浓技术的工厂中,可利用超容量浆泵抽取贮浆槽内浆料,再将一部分浆料送回到同一贮浆槽的顶部,以获得某种程度的混合,从而交混来自两个生产日期的纸浆。

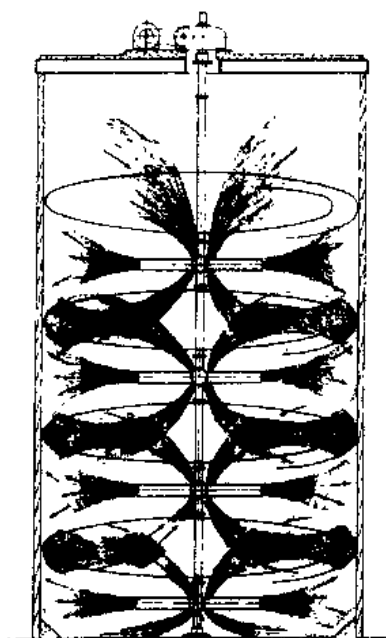


图 9-57 Cowan 式浆料搅拌器抽取塔中心的浆料将其分布于圆周边
(S. W. Hooper 公司)

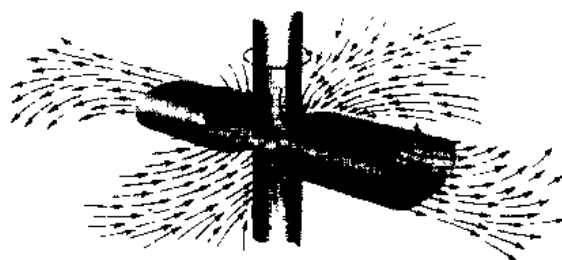


图 9-58 列示出 Cowan 式搅拌器的基本原理
(S. W. Hooper 公司)

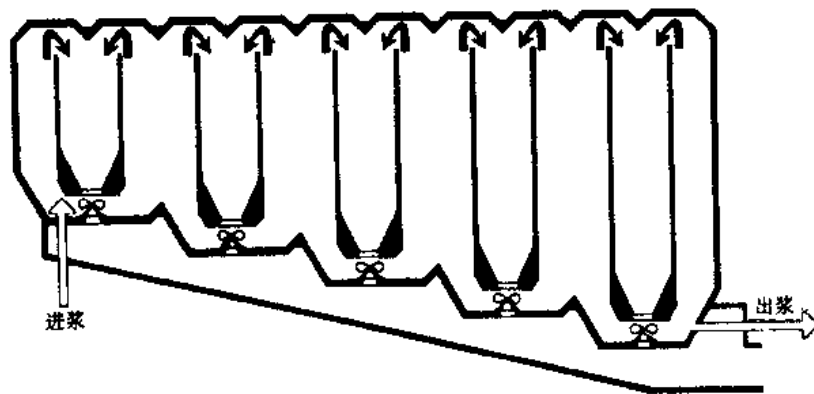


图 9-59 低浓多通道浆料混和槽 (Varkaus 纸厂)

9.9 外销商品浆的处置

在综合性工厂中,纸浆在使用于纸机前通常以 10%~14% 浓度贮存。而非综合性工厂中,纸浆必须进一步脱水以减少运输费用。如运输距离很短,纸浆可加工成高浓“碎浆粒”或最常见的加工成湿浆板。有时,从真空过滤机来的浆幅,简单地带上毛毯,经过一组辊子压榨,将浓度提高到 40%~45%,然后或则卷成卷筒或则切成浆板外运。图 9-60 示出一个完整的利用双毯压榨进行最初脱水和压榨的湿抄系统。

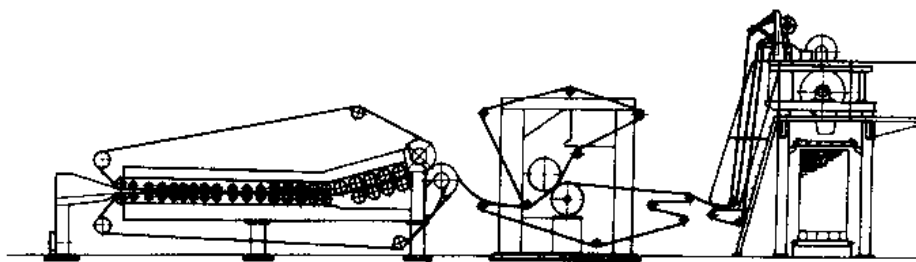


图 9-60 该湿抄机利用双毯压榨作浆料悬浮液的初步脱水，得到 40% 以下绝干浓度。再利用重型压榨，将干度提高到 48%~50% 绝干。然后以回转式辊刀将浆幅纵切并切断成浆板落到接纸台上（Andritz 公司）

在多数情况下，必须在外运前将浆板干燥。浆板以浆包形式交货，一般为 90%~95% 风干浆（相当于 81%~86% 绝干）。抄造浆板的主要方法由纸机演变而来，利用一个抄浆板网部（通常为长网，有时则为圆网成形器）、一个压榨部、一个干燥部、以及通常一个在线纵切机和浆板裁切工序。成形、压榨的蒸汽烘缸干燥的各工序将在第 16 和 17 章“纸张制造”中讨论。这里将讨论常用于纸浆干燥的两个其他方法。

气垫干燥机

图 9-61 是一张表示出风机位置的气垫干燥机外视图，其操作原理示于图 9-62 至图 9-64。

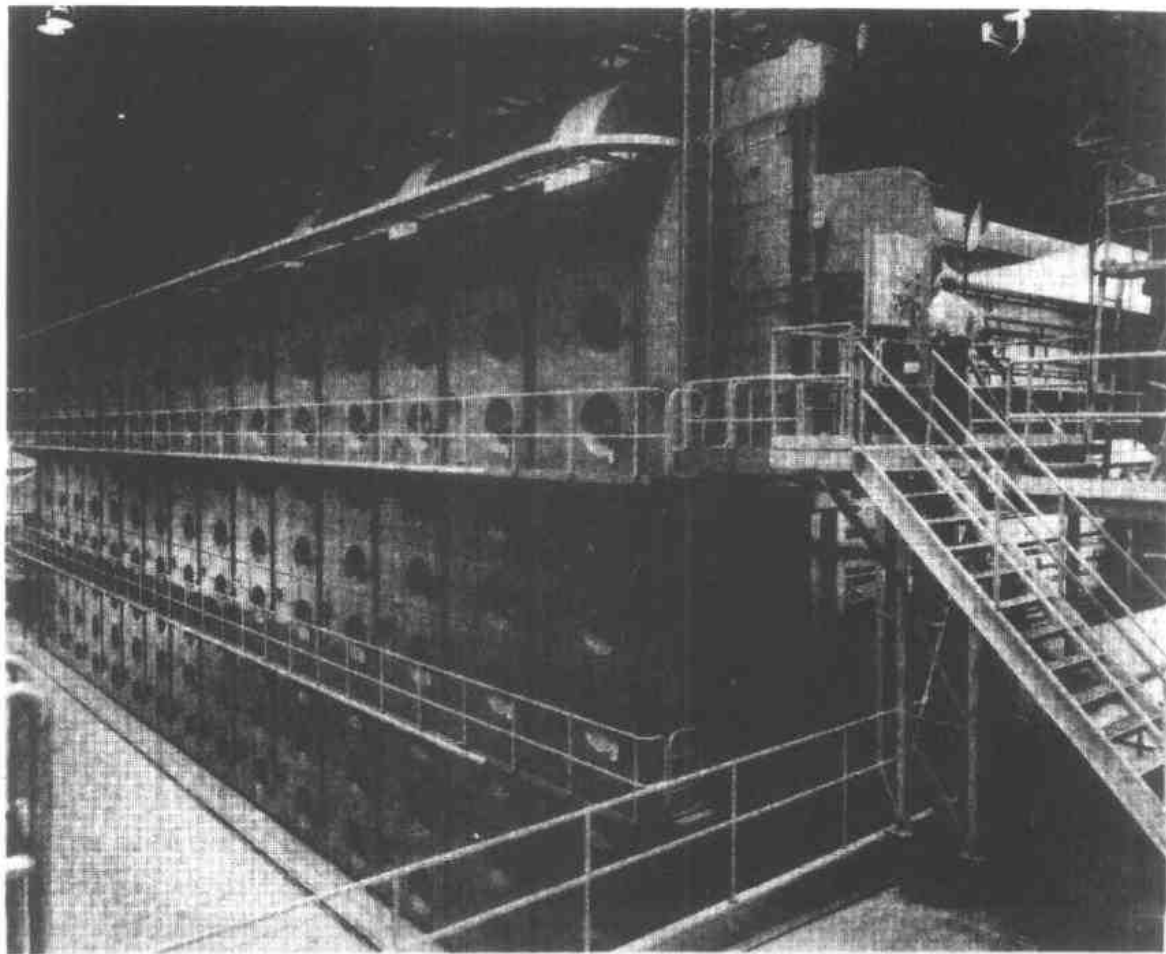


图 9-61 气垫浆板干燥机（ABB Flakt 加拿大公司）

浆幅被带入干燥室的许多通道中，在干燥室内用风干燥并承托浆幅。这种气垫干燥机的投资与操作费用类似于蒸汽烘缸系统，但多数纸浆生产者由于其易于操作和维护，更喜欢用气垫干燥机。

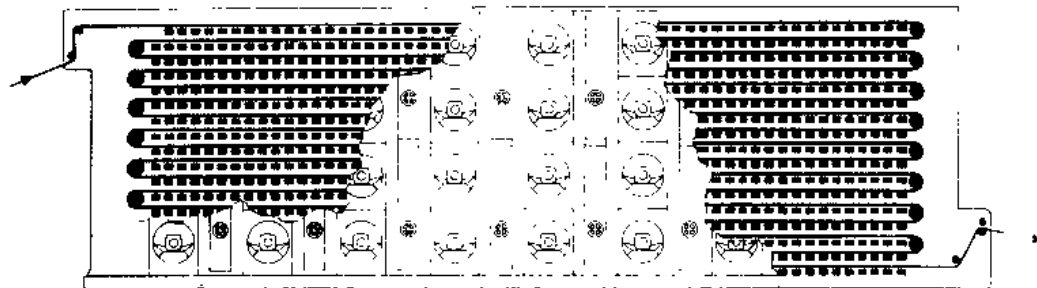


图 9-62 浆幅通过端部回头辊在干燥台上移动 (ABB Flakt 公司)

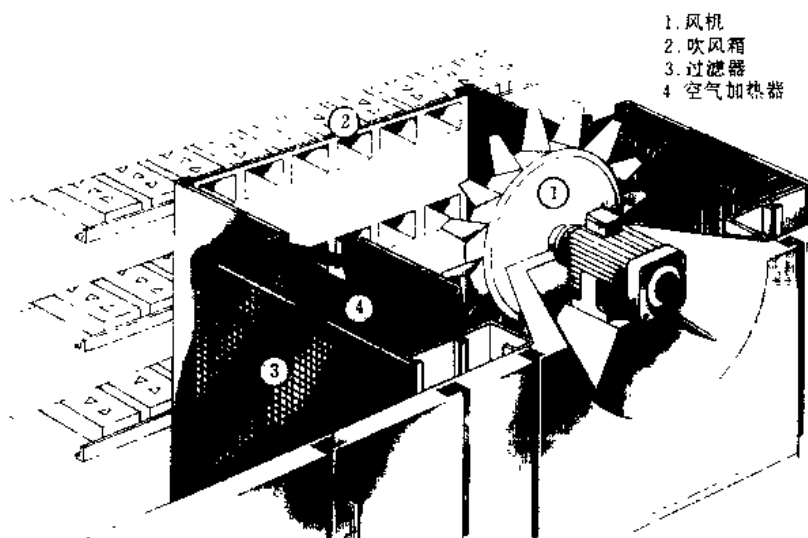


图 9-63 气垫干燥机纵视图，中间部分由加热用蒸汽盘管与配送空气至吹风箱的风机组成

在早期的气垫干燥机结构中，浆幅承载在机械运输机上，在其通道之间吹以热空气。后来的设计则是在浆幅上下引入真正的空气吹击作用，这种结构的蒸发效率较高，并取消了机械运输机。通常，浆幅在上部进入，经过两端的回头辊，行经数层平行通道，而在干燥机反方向的底部离开。新鲜的补充空气在节热器区（利用排出空气的废热）内预热后，进入干燥器的底部。利用干燥器两侧的多个风机，将空气循环多次，最后在通过节热用的空气热交换器后排出。每一个通道的空气用蒸汽盘管加热并泵经吹风箱，在这里，从“半圆喷口”排

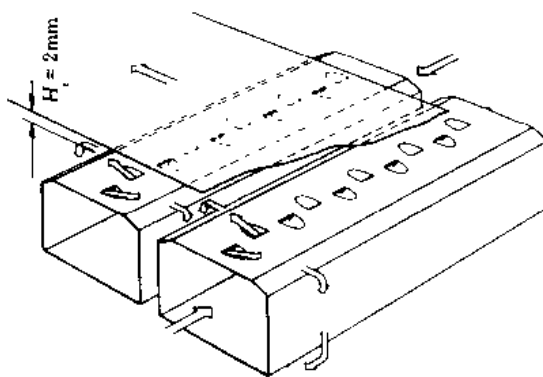


图 9-64 空气吹击系统将浆幅从板面托起并将其置于固定高度

出的空气射流，上下吹击浆幅。

早期的结构在干燥系统开机时在干燥机入口处利用一个引纸板 (threading table) 将“纸尾” (一条 150~250mm 宽的连续浆片) 连结到“风筝” (带吸风袋的棉布) 上。新型装置利用一个自动系统将纸尾带过干燥机，该自动系统包括运行在干燥机操作侧浆幅正常位置旁边的双带 (twin bands) 或折叠带。

在干燥装置内浆幅张力是由出入口的压区和导纸辊控制的。每个通道端部的回头辊在引纸时被传动装置驱动，而当干燥机全浆幅带过去后，就自由转动了。

使用性能指标和操作变数

在考虑任何纸浆干燥机的有关使用性能时，最重要的两个因素是：蒸发效率 (衡量生产能力) 和蒸汽耗用量 (衡量节能效率)。用于气垫干燥机的这类指标的典型测量单位是：

表面蒸发效率 kg 蒸发水 / (m² · h)

蒸汽耗用量 kg 蒸汽 / kg 蒸发水

表面蒸发效率的典型值：对老的机械运输机气垫干燥机为 0.9~1.0，对空气击吹型干燥机为 1.7~1.8。蒸汽耗用量的波动可低至 1.2，高至 1.7。影响这些指标的主要变数归纳在表 9-6 中。

表 9-6

影响蒸发效率和蒸汽耗用量的变数

有利于高蒸发效率的因素	有利于低蒸汽耗用量的因素
<ul style="list-style-type: none"> · 浆幅定量低 (较大的表面积) · 浆幅入口水分高 · 浆幅出口水分高 · 空气温度高 (加热器的蒸汽压力高) · 高流量的补充空气 (排气的湿度低) · 浆料 pH 低 	<ul style="list-style-type: none"> · 低流量的补充空气 (排气的湿度高) · 节热器的良好设计和维护 · 供给与排出空气流量之间的适当平衡 <p>(即尽量少漏入空气和漏出热空气)</p>

切纸机和码纸机

从干燥机出来的浆幅通常输入到一组织切机，它将浆幅按宽度切开，然后飞刀辊又将浆幅按长度切断。切好的浆板在输送带上送至码纸机纸斗，将浆板堆叠在平台上。液压系统随着浆板堆的增高将平台逐渐降下。当浆板堆到合格高度时，在平台的下降的同时，码纸机的“抓手”伸出来托住浆板并将其送到输送机上。堆叠的浆板然后送去完成部，在那里将浆板堆称重、打压成包、包装、绑线和贴标签。参见图 9-65。

闪急干燥

闪急干燥的过程是先将压榨后的纸浆“绒毛化” (即将压缩的浆饼撕碎成纤维状，而大大增加其暴露的表面积)，然后再引入到热气流中。高温的气流加热，使纸浆中水分很快蒸发成水蒸气。其典型系统示于图 9-66。生产的干浆可直接压缩成浆包或压成小块，然后再打成浆包。(图 9-67)。

闪急干燥由于其投资低和占地面积小而极具有吸引力，即使其运行费用可能较高。20 世纪 60 年代后期和 70 年代前期的闪急干燥系统尚存在若干质量问题，主要是白度损失和形成很难分离的坚硬“小球”。发现撕碎机的有效运行是个很重要因素，因为分离得好以及比表面积大，可使蒸发作用进行得较迅速并可保持在较低的温度。

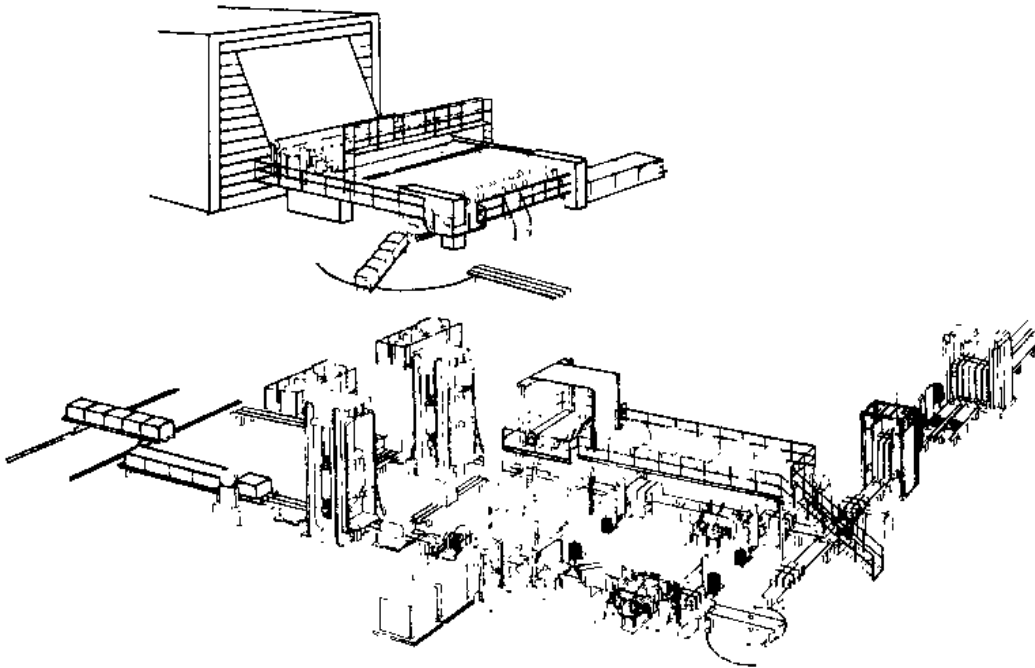


图 9-65 纸浆的完成生产线索 (Lamb 公司)

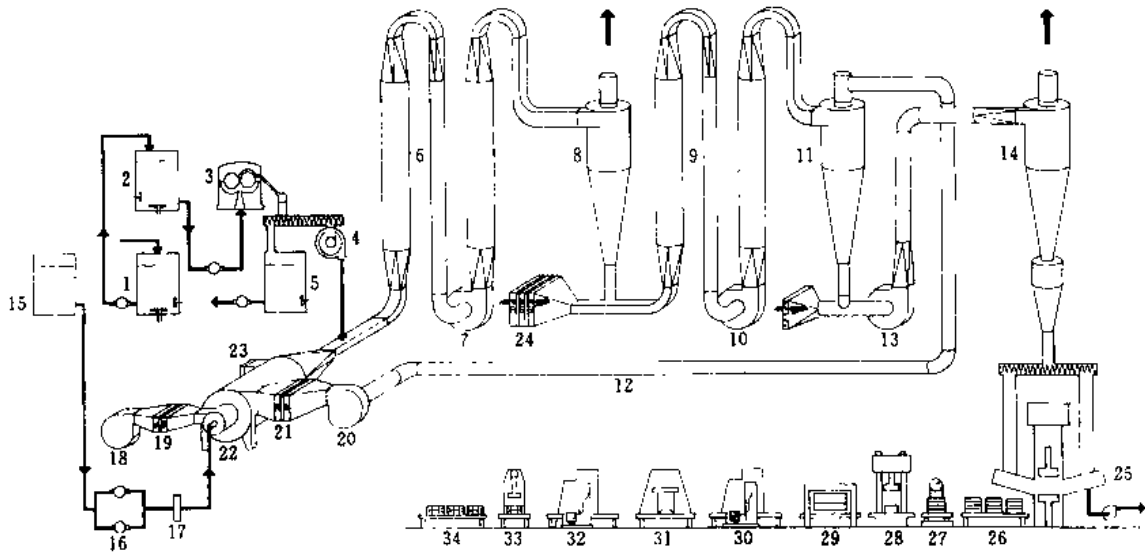


图 9-66 闪急干燥机流程图

- 1—带温度控制的进浆槽 2—平衡槽与浓度控制 3—脱水压榨 4—撕碎机 5—浆化槽 6—一段干燥塔
7—二段干燥风机 8—一级旋风分离器 9—二段干燥塔 10—二段干燥风机 11—二段旋风分离器
12—回风管 13—冷却段风机 14—冷却段旋风分离器 15—油箱 16—油泵 17—油加热器 18—燃气风机
19—燃气加热器 (任选) 20—稀释用风机 21—稀释空气加热器 22—二段空气加热器
23—新鲜空气气流调节器 24—二段空气加热器 25—打小包机 26—运送平台 27—磅称台
28—打包机 29—包装机 30—绑铁线机 31—折叠机 32—绑铁线机 33—贴商标机 34—浆包

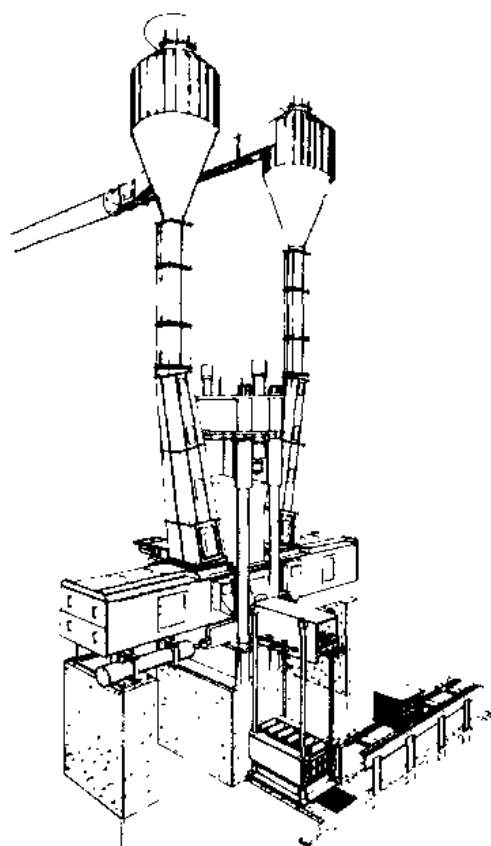


图 9-67 用于与 D&S 闪急干燥系统相联结的立式打包机
(Vickers Canada 公司)

闪急干燥的变数包括在所谓“蒸汽干燥器”内，因为绒毛浆是在略为过热的低压蒸汽介质中而不是在热空气中进行干燥的⁽¹⁾。热量被传递到纸浆并借间接冷凝高压蒸汽而输送蒸汽。从纸浆蒸发的水分作为低压蒸汽从系统中排除，适合于在制浆或造纸厂的过程中使用，据称其净热耗量可能低至传统干燥系统的 1/4。

参 考 文 献

- (1) HARTLER, N., DANIELSSON, O., RURBERG, G. **Mechanical Fiber Separation in Kraft Pulping Systems** *TAPPI* 59: 9: 105-108 (September 1976)
- (2) KORHONEN, O. **Brownstock Washing: A Review of Current Technology** *Pulp & Paper* (September 1976)
- (3) CROTOGINO, R. H., POIRIER, N. A. and TRINH, D. T. **The Principles of Pulp Washing** *Tappi Journal* (June 1987)
- (4) SILANDER, R. **New Technologies in Brownstock Washing Replacing Vacuum Filters** *Pulp & Paper* (May 1987)
- (5) NORDEN, H. V., et al **Statistical Analysis of Pulp Washing on an Industrial Rotary Drum** *P & P Canada* 74: 10: T329 (October 1973)
- (6) PHILLIPS, J. R. and NELSON, J. **Diffusion Washing System Performance** *P & P Canada* 81: 1: T24-

27 (January 1980)

(7) ATKEISON, C. A. **How to Achieve the Best Operation from Free-Discharge-Type Screens** *Pulp & Paper* (March 197)

(8) NELSON, G. L. **The Screening Index: A Better Index for Screening Performance** *TAPPI* 64: 5: 133 (May 1981)

(9) MCCARTHY, C. **Various Factors Affect Pressure Screen Operation and Capacity** *Pulp & Paper* (December 1988)

(10) FORBES, D. R. **Pulp Mill Screening is Key to Pulp Quality, Maximum Fiber Utilization** *Pulp & Paper* (November 1987)

(11) BLISS, T. L. **Stock Preparation, Chapter 6-Cleaning** (Volume 6, **Pulp & Paper Manufacture**) Joint Textbook Committee, 1992

(12) BLISS, T. L. **Through-flow Cleaners Offer Good Efficiency With Low Pressure Drop** *Pulp & Paper* (March 1985)

(13) GULLICHSEN, J., et al **Medium-Consistency Technology: Storage Dischargers and Centrifugal Pumps** *TAPPI* 64: 9: 1133—116 (September 1981)

(14) GULLICHSEN, J., et al **Medium-Consistency Technology: the MC Screen** *TAPPI Journal* (November 1985)

(15) SVENSON, C. **Novel Pulp Dryer Promises Energy Saving** *P & P International* (June 1980)

第 10 章 化学品回收

从废蒸煮液回收化学品、重新构组这些化学品形成新蒸煮液，从焚烧有机残余物兑现能量，以及最大限度地降低对空气和水的污染是任何化学制浆厂回收工艺的重要组成部分。硫酸盐和亚硫酸盐法浆厂都承担这些任务，但它们在各自方法上有若干显著差别。本章将集中讨论最普遍的硫酸盐法浆厂回收工艺，仅在 10.7 节简略地介绍亚硫酸盐法的回收技术。

硫酸盐法回收工艺自从它在 1884 年获取专利以来，在任何基本方法上并没有改变，但已演变和改进（特别是自 20 世纪 30 年代以来）为一系列界限明确的单元工序。整个硫酸盐法浆厂药液循环的总流程图，示于图 10-1。以从本色浆洗浆机来的稀黑液开始，化学品回收中所包括的工序如下：

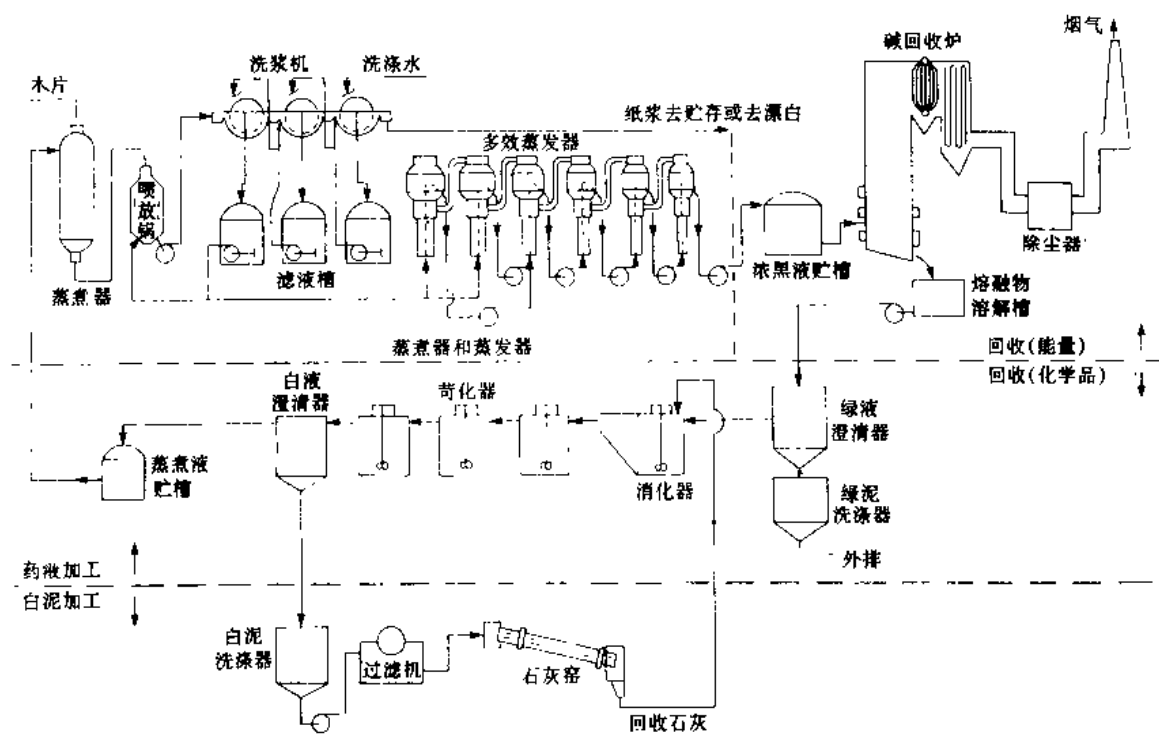


图 10-1 硫酸盐制浆法

- (1) 在多效蒸发器中废液浓缩，形成浓黑液（strong black liquor）。
- (2) 黑液氧化（如果需要）。
- (3) 黑液进一步浓缩成“重黑液（heavy black liquor）”（补充碱损失的芒硝可在此处加入）。
- (4) 在碱回收炉中焚烧黑液。
- (5) 溶解从碱回收炉出来的熔融物，形成绿液（补充碱损失的纯碱可在此处加入）。

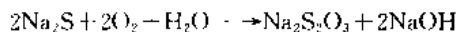
(6) 用石灰苛化绿液形成白液（补充碱损失的烧碱可在此处加入）。

(7) 焙烧白泥回收石灰。

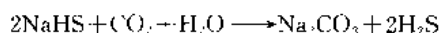
这些工序将在下面的讨论中加以叙述。

10.1 黑液氧化

根据下面的任一反应，黑液中的硫化物被氧化为硫代硫酸盐：



黑液氧化最初在 20 世纪 50 年代是作为一个减臭措施，以硫代硫酸盐形式“稳定住”黑液中的硫。不这样，在直接接触蒸发器中热烟气将会按下列反应式从黑液中提析出带臭味的硫化氢：



安装和运行黑液氧化系统是比较昂贵的。氧化工序还消耗掉黑液的燃烧值（fuel value）。自 1975 年以来安装的绝大多数碱回收炉，在其设计中已不再附带直接接触蒸发器，因而也就不再需要氧化了。

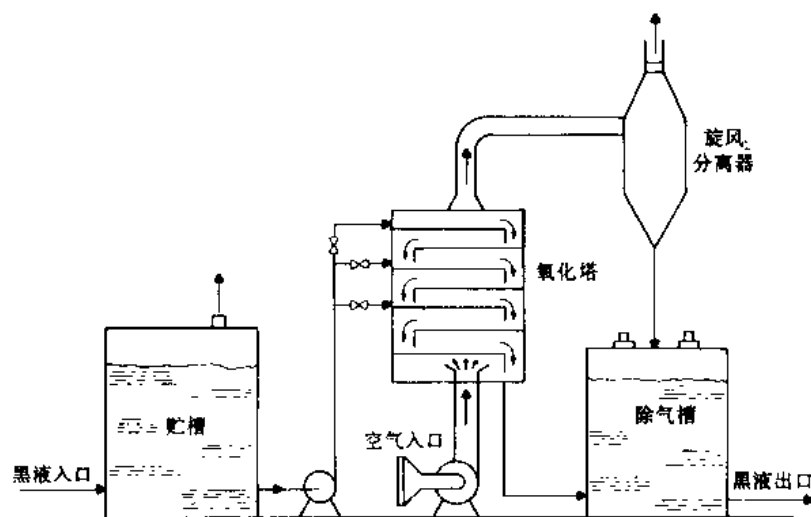


图 10-2 Trobeck-Ahlen 多筛板稀黑液氧化系统

氧化作用通常借黑液与空气接触面完成。为此采用了各种设备，包括喷淋塔、泡罩塔和塔内喷雾环。目的是在尽量减少泡沫生成的情况下提供液体与空气之间的紧密接触。尽管如此，泡沫总是个麻烦问题，特别是在处理高含脂木材的黑液时。处理泡沫的附属设备通常是整个氧化系统设计的组成部分。黑液氧化最初是在稀黑液中进行（例见图 10-2），以减少多效蒸发器和直接接触蒸发器的臭气排放。以后，由于开发了处理多效蒸发器不凝气的更好方法，氧化体积较小的浓黑液就变得更具有吸引力（例见图 10-3）。而且还发现，通常由于元素硫的还原作用，这本身又是氧化过程的部分产物，使若干硫化物在进行稀黑液氧化后发生重整。而浓黑液氧化后，则硫化重整作用可忽略不计。

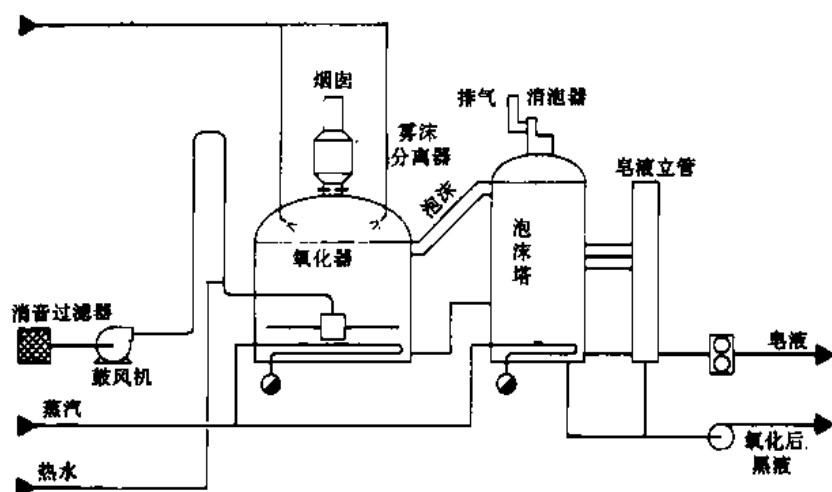


图 10-3 浓黑液氧化系统 (MoDo-Chemetics 公司)

10.2 蒸发

离开本色浆洗浆机的稀黑液固形物含量在 13% 与 17% 之间, 而被燃烧的重黑液固形物则在 60% 与 80% 之间。这个固形物含量的差别, 说明必须要将大量的水 (每 kg 干固形物 5~7kg 水) 经济地蒸发掉, 以便从燃烧过程最大限度地实现净燃烧值。

多效蒸发器

除去大量的水是在多效蒸发器中进行的, 一组再沸器 (reboiler) 操作在不同的压力下, 以便从一个蒸发器本体出来的二次汽, 成为供给下一个蒸发器的蒸汽。多效蒸发器设计的最大优点是节汽效率 (steam economy) 高, 七效蒸发器系统每使用 1kg 蒸汽可蒸发掉高达 5.5kg 的水 (见图 10-4)。

典型的六效蒸发器布置 (传统立式长管设计) 示于图 10-5, 简要流程图示于图 10-6。各效是按蒸汽和二次汽流动的顺序编号的。入口蒸汽去到带压的第一效蒸发器外壳侧, 第一效

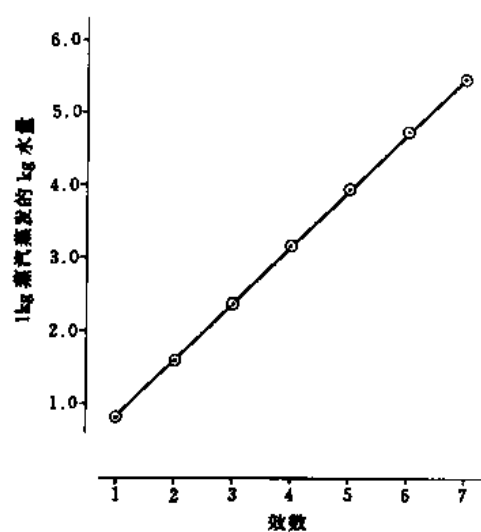


图 10-4 蒸发节汽效率与效数之间的函数关系

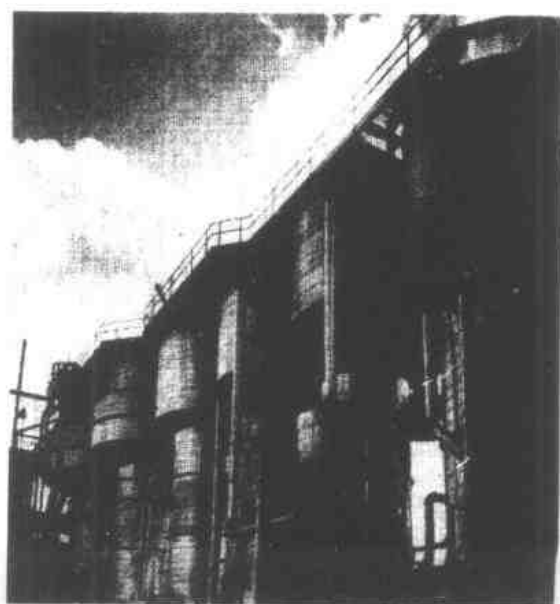


图 10-5 六效蒸发器的典型布置

通常在蒸发管一侧含有两个黑液效 (1A 和 1B)。在另一端 (6 和 5 效) 进入的稀黑液通常在这两个效之间分配, 在这里, 黑液在真空状况下低温沸腾。随着黑液从某效转移到下一效, 二次汽压力增加, 沸腾温度增加, 固形物含量增加, 而黑液体积则减少。中间效的压力取决于原始蒸汽压力和施加于最后效二次汽部分的真空度。

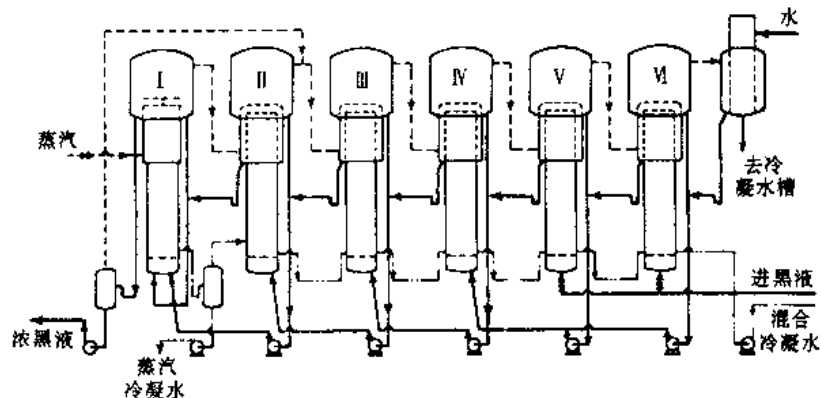


图 10-6 六效蒸发器流程图

六效蒸发器的典型操作数据示于表 10-1。随着固形物含量的增加,形成沸腾液温度与其相应二次汽冷凝温度之间的差别。该温度差(称为“沸点升高”)显著降低了在高固形物效中传递热量可利用的推动力,是制约蒸发器组可行效数的主要因素。

表 10-1 六效蒸发器的典型操作数据

	闪急槽	I A	I B	II	III	IV	V	VI
进汽量/lb·h ⁻¹		20500	30700					
蒸汽压力/lb·in ⁻²		31.5	31.5	9.4	1.2	210	411	560
真空度/mmHg		276	276	238	216	196	175	152
蒸汽温度/°F		24	26	13	13	15	17	21
有效温度/°F	232	252	250	225	203	181	158	128
黑液温度/°F	14	14	11	7	5	4	3	3
沸点升高/°F	218	239	239	218	198	177	155	125
二次汽饱和温度/°F		9.8	9.8	1.8				
二次汽压力/lb·in ⁻²					7.4	15.6	21.4	26.0
真空度/mmHg		953	953	967	979	992	1005	1023
二次汽潜热/Btu·lb ⁻¹		0.4	0.4	06				
压力降/lb·in ⁻²					0.9	0.6	0.6	
真空度/mmHg		9.4	9.4	1.2				
下效二次汽压力/lb·in ⁻²					8.3	16.2	22.0	
真空度/mmHg		109775	135825	178875	219585	252995	166520	166520
进液量/lb·h ⁻¹	90605	90605	109775	135825	178875	219585	130475	122520
总固形物%	89200	42.3	34.2	25.9	21.1	18.3	13.9	13.9

续表

	闪急槽	Ⅰ A	Ⅰ B	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
出口固形物/%	52.0	51.2	42.3	34.2	25.9	21.1	17.8	18.9
传热面积/ft ²		4400	4400	8800	8800	8800	8800	8800
传热系数/U		171	242	392	386	316	240	190

注: 1lb=0.45kg, 1ft=0.3048m, 1mmHg=133.3Pa, 1Btu=1055.06J, 1lb/in²=6894.76Pa, $\frac{t_F}{F} = \frac{9}{5} \frac{t}{C} + 32$

典型立式长管蒸发器本体示于图 10-7。进入的黑液随着它迅速地在管内上升(即随着它吸收来自二次汽在管外壁上凝结的热量时)产生沸腾并增浓。汽液相混合物溢流过花板并撞击到挡板上,使黑液与二次汽分开。二次汽通过一个离心式分离器(有时与一个金属丝网串联)除去夹杂的液滴,并转入下一个蒸发器外壳。黑液流过边缘进入一个泄液口,并借泵经密封的后热器区进行循环,黑液进入下效之前在这里吸取显热。

从最后效排出的黑液对常压来说是过热的。在 50%~60% 固形物的浓黑液引入贮槽前,额外的二次汽在闪急槽中汽化。黑液必须利用直接接触蒸发器或在“增浓器”中进一步增浓到 65%~70% 固形物(或更高些)以供燃烧。

蒸发器体的设计有很多种⁽¹⁾。大多数现有设备是属于“升膜”型。但“降膜”型(如图 10-8 所示)由于具有更好的节能效率以及更大的生产调节能力,逐渐变得更为普及。不少制造厂商宁愿用板式而不用管式作为热交换表面。

多效蒸发器传统的流动顺序全为逆流布置,如图 10-6 所示。目前正企图用另一种流动顺序以优化热传递和减少堵塞(即在管壁积聚沉淀)。有时使用效间转换排列以使低固形物黑液可以“洗去”由高固形物黑液存积下来的沉淀,并延长用水全面清洗(即水煮)前的总作业时间。

可利用各种形式的蒸发设备加强或补充多效蒸发器。供选择的有喷放热蒸发器⁽²⁾、二次汽机械再压缩蒸发器以及二次汽热力再压缩蒸发器。选择应基于对每个方案相关优点的仔细考量,以及总体经济效益的全面观察,特别是在能源节约方面。

喷放热蒸发器通常采取两效系统的形式,在系统中闪急蒸汽(或自凝结水槽来的热凝结水)用作第一效的加热介质,从第一效出来的二次汽用作第

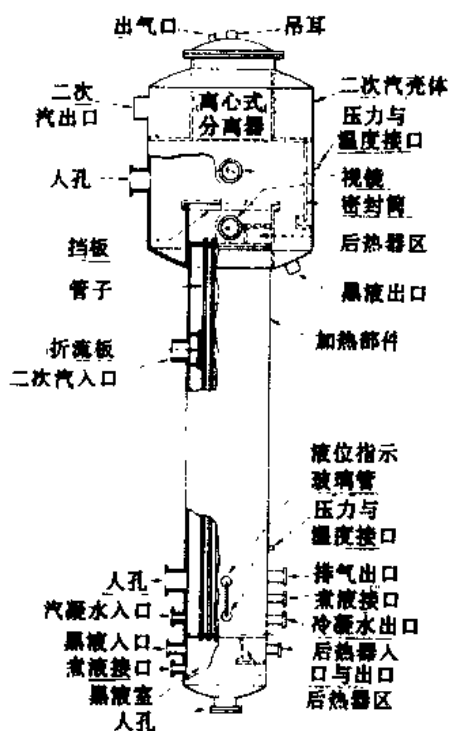


图 10-7 典型长管蒸发器效的内部结构 (HPD 公司)

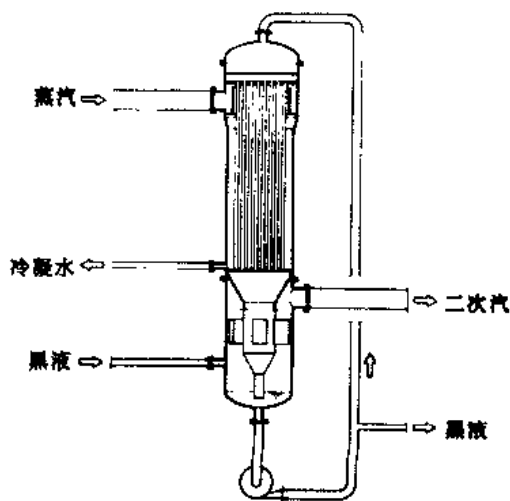


图 10-8 降膜式蒸发器

二效的加热介质。二次汽机械再压缩蒸发器(MVR)通过机械压缩提高二次汽温度,以使它能重新用作蒸发的加热介质。典型的MVR流程示于图10-9。热力再压缩蒸发器利用高压蒸汽混入到低压二次汽中,以使最终的混合汽(处于中间压力)可用作蒸发的热源。

直接接触蒸发器

直接接触蒸发器实际上直到1968年才引入到所有碱回收炉的设计中。它们位于碱炉省煤器管区下游的烟道内,利用烟气中的余热蒸发黑液中的水分进一步浓缩浓黑液。黑液与热烟气之间的紧密接触,能使黑液捕集若干被烟气挟带的尘粒,还使烟气从黑液中析出还原硫(参见10.1节)。在新型碱回收炉设计中直接接触蒸发器的取消已引发了利用烟气余热的另一项研究工作(见10.3节)。

圆盘蒸发器(图10-10)包括一个回转管束装置,它依次地没入黑液和暴露到热烟气中。该装置以并联或串联形式(取决于烟气状况和所需蒸发量)设置于烟道中。这种形式的蒸发器通常包括在与CE公司碱回收炉设计中。

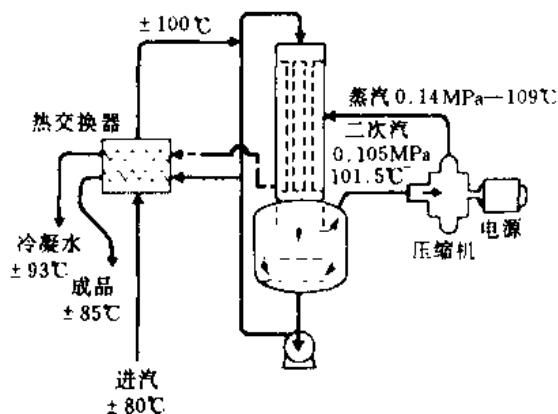


图 10-9 利用二次汽机械再压缩的蒸发器
(Vnitech, Div. of Ecodyne 公司)

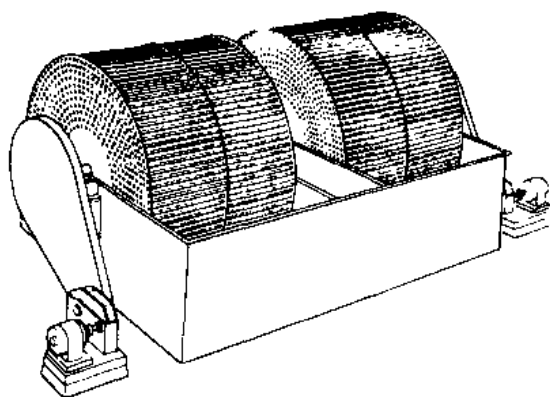


图 10-10 圆盘式蒸发器

旋风分离蒸发器(图10-11)是一个带锥底的立式圆筒容器。烟气切线进入并与喷洒在整个入口处的黑液相接触。烟气通过顶部风管逸出,而增浓黑液则从底部排出。这种型式的蒸发器通常包括在Babcock与Wilcox公司的碱回收炉设计中。

增浓器

多数纸厂没有直接接触蒸发器,而用特别设计的单段或多段间接加热式蒸发器,称之为“增浓器”,以将固形物含量增加到65%~70%。由于在高固形物浓度时无机化合物的溶解度常常下降,必须泵入相当大量的黑液以减少管壁沉淀。即使这样做,单段增浓器通常仍须频繁进行清洗,有些厂需要备用装置以便轮流使用和清洗。

可使用各种不同的设计,但在所有情况下,主要目的是将堵塞和结垢降到最低。如图10-12所示的带循环降膜式增浓器大概是最常用的形式。在该设计中,最关键的是黑液均一地分布在加热元件表面上。蒸发作用发生在黑液表面而不是在加热元件表面。

强制循环潜管(submerged-tube)增浓器(没有示图)的运行方式是泵入大量黑液通过一个管式加热器。黑液通过在加热器上方保持正压头和减少经过加热器的温升而抑制了加热器内的闪急蒸发。因此,在该设计中蒸发作用发生在二次汽空间而不是在管内。

有些新型多效蒸发器系统将流程中的低固形物效与增浓器相结合,以使增浓器的每个室

定期被低固形物黑液所“清洗”。综合系统的例子示于图 10-13。

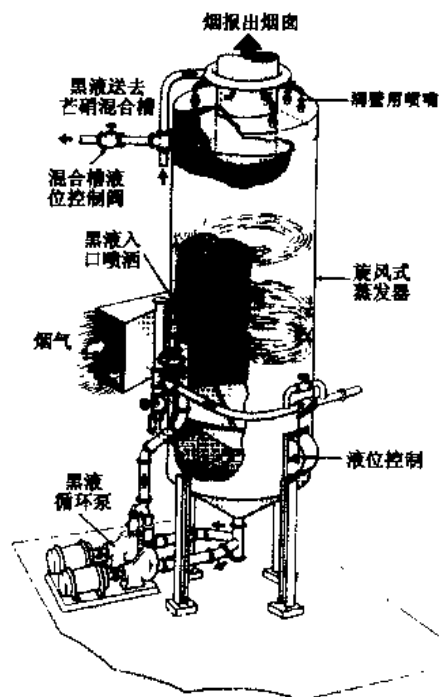


图 10-11 旋风分离蒸发器

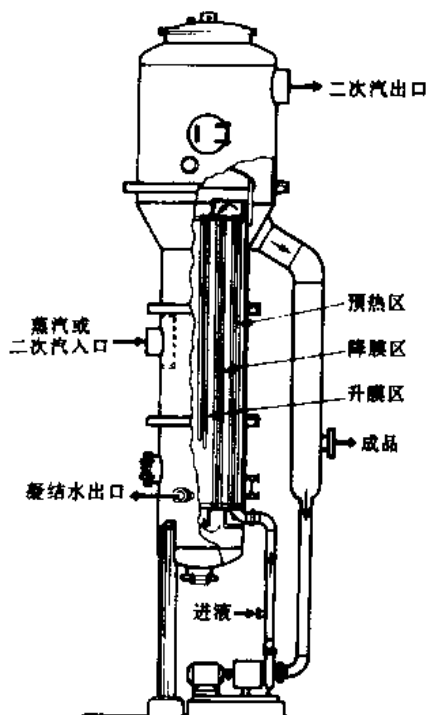


图 10-12 利用预热区与降膜区并局部循环的增浓器
(Vnitech, Div. of Ecodyne 公司)

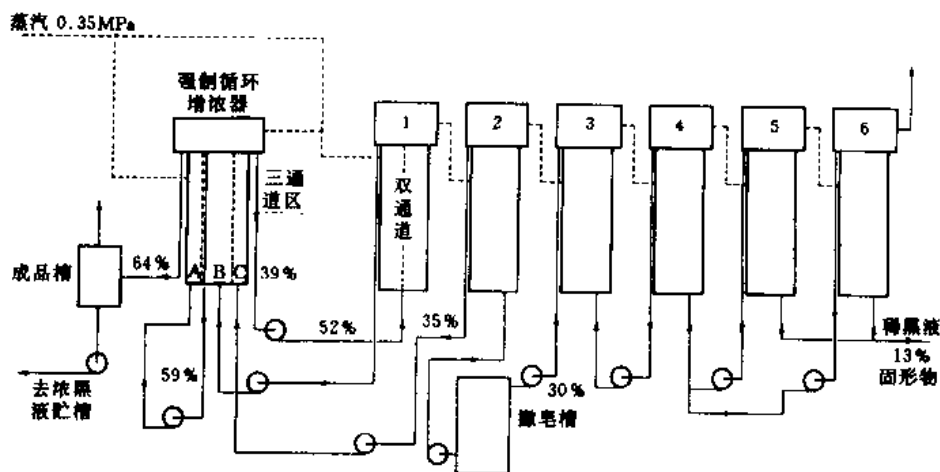


图 10-13 带三室增浓的多效蒸发器，增浓器的某个室用第二效来的黑液连续清洗，而另两室则将黑液增浓到 64% 固形物含量

10.3 碱回收炉

碱炉是碱回收车间的心脏，并具有以下的基本功能：

- (1) 蒸发掉黑液固形物中的残余水分。
- (2) 燃烧有机物组分。
- (3) 提供产生蒸汽的热量。

- (4) 将氧化的含硫物还原成硫化物。
- (5) 使熔融物的无机化学品再生。
- (6) 使燃烧生成物尽量少挟带化学品。

从直接接触蒸发器或增浓器来的重黑液 (heavy black liquor) 喷洒到炉膛中。液滴干燥并在降落到垫层 (char bed) 上以前局部热解。在松软垫层中的不完全燃烧, 使碳和一氧化碳起到还原剂的作用, 从而将硫酸盐和硫代硫酸盐转化成硫化物。所产生的热量足以使钠盐熔融, 熔融的钠盐透过垫层到达炉膛底部。熔融物然后借重力通过水冷壁溜槽去溶解槽。

碱回收炉设计的发展

新型碱回收炉的发展通常要归功于加拿大安大略省 Howard Smith 纸厂的 G. H. Tomlinson。Babcock 与 Wilcox (B&W) 公司与 Tomlinson 合作在 1934 年推出了第一台样机。B&W 公司在随后的设计中又进一步对 Tomlinson 的构想作了改进。Combustion Engineering (C-E) 公司根据其早先转炉的经验在 1936~1938 年间进入此领域。多年来 B&W 与 C-E 已成为北美两家主要的碱炉制造商。

带直接接触蒸发器的 C-E 和 B&W 碱炉的例子 (约在 1968 年) 分别示于图 10-14 和图 10-15。其主要的设计不同点归纳在表 10-2 中。北欧的锅炉制造商 (瑞典的 Gotaverken 和芬兰的 Tampella) 也拥有碱炉基本技术, 他们多年来在改进其结构型式方面进行了合作。实际上所有的碱炉系统都包括电除尘器以除去在尾气中挟带的碱灰 (示于图 10-14, 但在图 10-15 中被略去了)。电除尘器操作原理在第 27 章中介绍。

表 10-2 碱回收炉膛传统设计的比较

类 型	B&W	C-E
黑液喷洒		
• 喷嘴数量	1, 2, 或 4 个	多个
• 压力	0.14~0.28MPa	0.08~0.14MPa
• 摆动幅度		
- 垂直	15°下至 5°上	水平向下
- 水平	20°左至 20°右	(无)
• 喷洒方法	喷到壁上	喷到中心
干燥方法	壁干燥 (固形物从壁落到炉床)	喷洒干燥 (固形物自由落到炉床)
炉床结构	斜向熔融物出口	平坦, 熔融物出口略高于炉床 (倾注)
空气分配		
• 一次	~50% (距炉床 1m 以下)	~65% (距炉床 1.3m 以下)
• 二次	~30% (喷洒区下面)	~35% (喷洒区上面)
• 三次	~20% (喷洒区上面)	无

在 20 世纪 60 年代前期, 北欧相对较高的燃油价格导致对高热效率的需求。随后, 高固形物蒸发系统的发展, 淘汰了低热效率的直接接触式蒸发器。因此自 1968 年左右起, 北美大多数新建的碱炉都已不再安装直接接触式蒸发器。这类绝大多数的所谓“低臭”炉设计, 都有

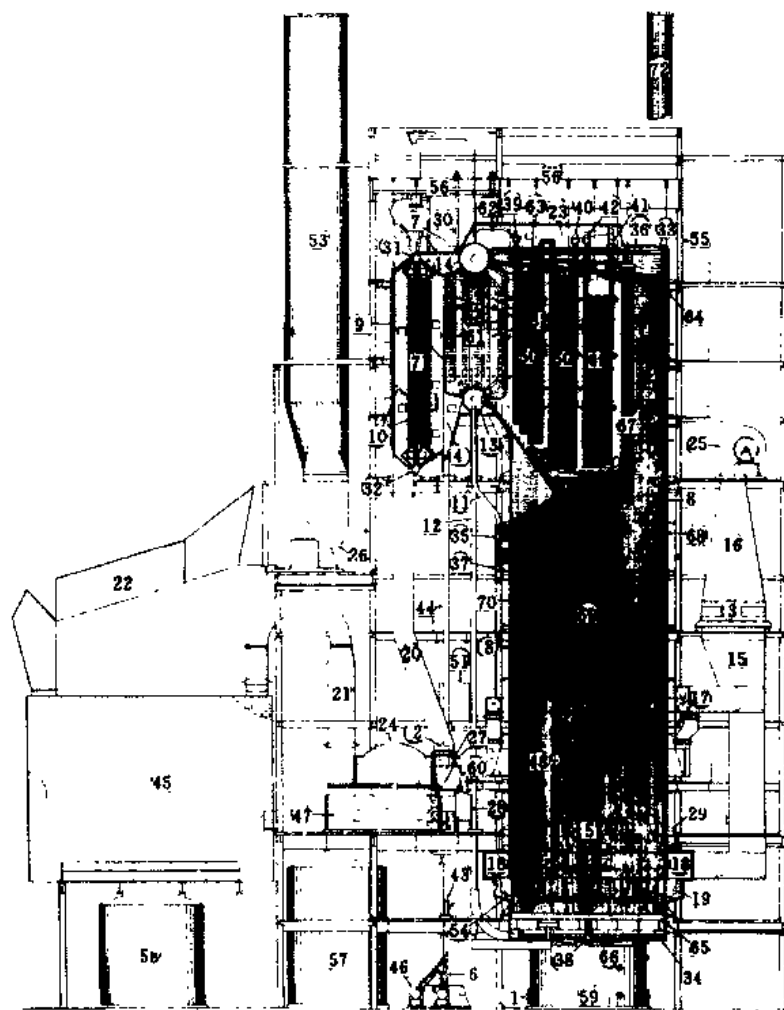


图 10-14 碱回收炉

- 1 主溶解槽搅拌器 2 芒硝混合槽搅拌器 3 空气加热器(蒸汽) 4 灰斗(化学品) 5—黑液喷枪 6—黑液管
 7—碱炉后顶部外壁 8—炉膛外壁 9—省煤器外壁 10 省煤器旁通调节器 11, 12—去炉膛水冷壁入口降流管
 13 碱炉下汽包 14 碱炉上汽包 15 蒸汽去风道 16 鼓风机去空气蒸汽加热器的风道 17—二次通风联结的风管
 18—一次风带式通风风道 19—一次风喷嘴和起燃器联结风道 20—省煤器去蒸发器的风道 21—蒸发器去除尘器的风道 22—除尘器去引风机的风道 23—顶部外套 24—圆盘蒸发器 25—鼓风机 26—引风机 27—芒硝給料器
 28—流箱 29—炉膛导板 30—汽包吊杆 31—省煤器上联箱 32—省煤器下联箱 33—侧水冷壁侧上防箱 34 侧水冷壁侧下防箱
 35 水冷壁板入口联箱 36 水冷壁板出口联箱 37 水冷壁板供水联箱 38—降流联箱 39—过热器顶板入口联箱
 40—过热器顶板出口联箱 41—过热器前板入口联箱 42—过热器前板出口联箱 43—二级黑液加热器 44—化学品灰斗去圆盘蒸发器管子
 45—电除尘器 46 黑液泵 47—蒸发器减速箱 48 二次风调节器 49—过热器前板元件 50—过热器后板元件
 51 芒硝仓 52—吹灰器 53—烟囱 54—起燃器 55—碱炉主钢架 56—压力部件钢架 57—黑液贮槽
 58—黑液排出槽 59—主溶解槽 60—芒硝混合槽 61—碱炉管架 62 过热器联箱(已饱和)管束
 63—水冷壁上升管束 64—水冷壁顶管束 65—水冷壁底管束 66—水冷壁供水管束 67—水冷壁板网管束
 68—水冷壁前管束 69—水冷壁侧管束 70—水冷壁后管束 71—省煤器管束 72—主溶解槽通风口

一个很大的省煤器区域以冷却出口烟气(图 10-16 与图 10-17)。

多年来碱回收炉已获得了持续发展。例如, C-E 公司提供的最新改进型, 包括了诸如稳态

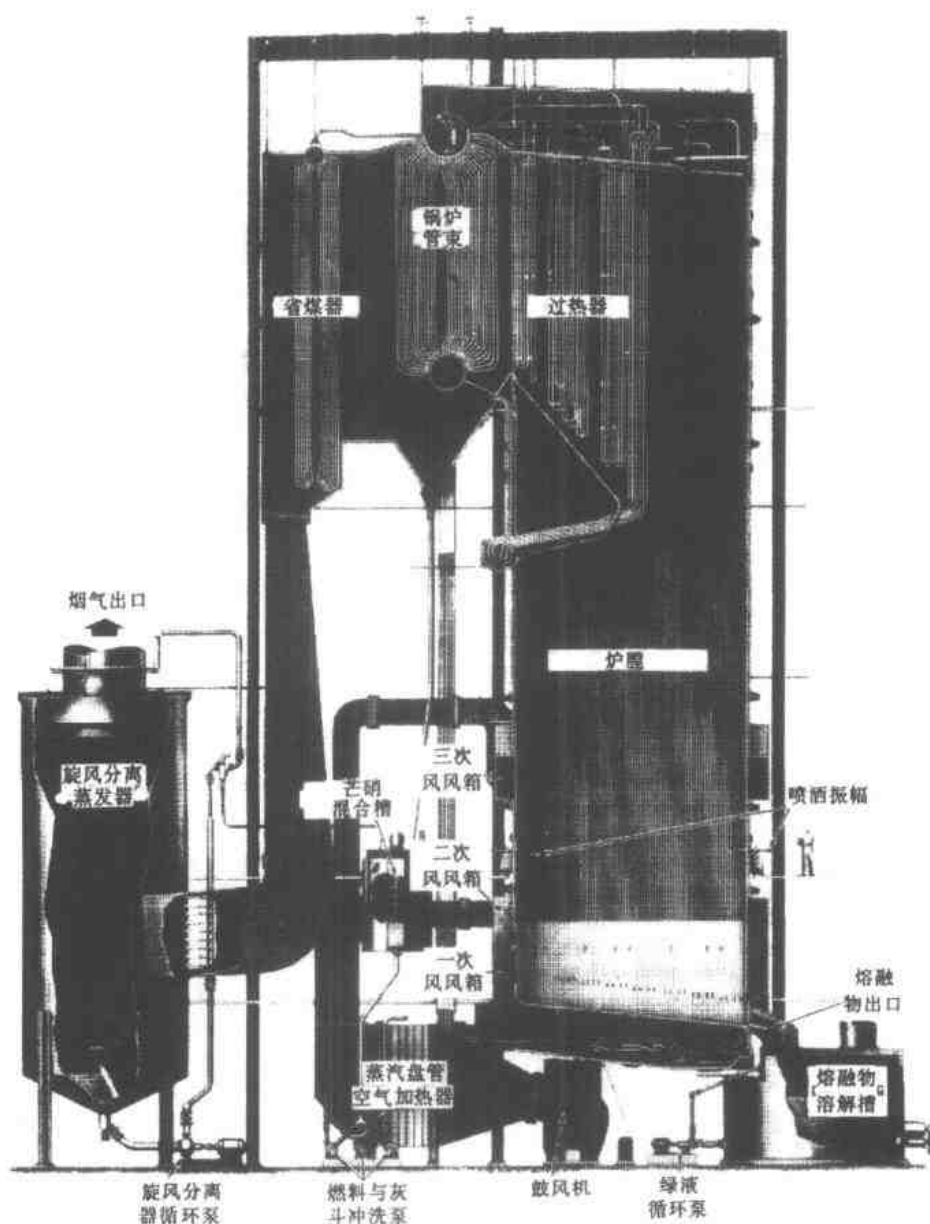


图 10-15 Babcock 与 Willcox 碱回收炉 (1968 年左右)

燃烧、三次风系统、单汽包设计、加强型炉体框架、炉体防腐的改进、以及可进行高固形物燃烧等特点。

烟气流

空气通过两组或三组入口装置送入炉膛内，三组入口装置自下而上称之为一次、二次和三次风（图 10-18 和图 10-19）。一次风口位于炉床以上约 1m，分布在炉膛周围四壁，以使风速尽量低些，同时提供 50%~65% 的所需空气。二次和三次风一般风速较高，以保证未燃气体的完全混合与燃烧。

在直至 1984 年以前所安装的碱炉中，二次和三次风一般通过固定的射流送入，所以其中心线为切向呈假想圆形（图 10-20）。这似乎促进了与未燃气体的湍流混合，但最近的测定工作表明，这种进入方式实际上促进了燃烧物形成锥形体并增加了液粒挟带。最近的文献⁽³⁾考察

了这个问题,结论是目前的大多数进风口结构需要重新设计。

位于主吸热区前面的炉膛,可视为包含三个不同的区:即黑液燃烧的干燥区、底部的还原区以及上面湍流部分的氧化区。每个的主要化学反应示于图 10-18。垫层的形状示于图 10-18 和图 10-19 中。

借一台或两台鼓风机将空气送入炉膛。烟气是借在除尘器排气口用一台或两台大型引风机抽出。为了保持操作者在黑液喷嘴和熔融物出口附近的环境安全,必须使炉膛在抽力(即负压)下操作。结果是,会有少量空气通过这些管壁的开口漏入炉膛。注意 Screen 是排灰管还是水冷屏需研究一下。

水流与蒸汽流

新型炉膛的炉床与炉壁由毗邻水管所组成。C-E 使用切面壁(tangent wall)结构,将 80mm 管沿管接触线焊封在一起,B&W 采取翅片式壁结构(图 10-21),也用 80mm 管,但在管间焊以

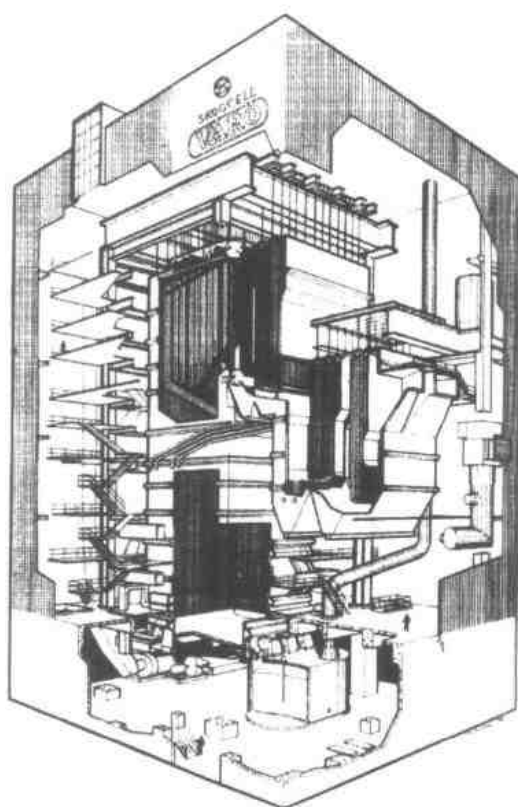


图 10-16 带大省煤器区的 Gotaverken 碱回收炉

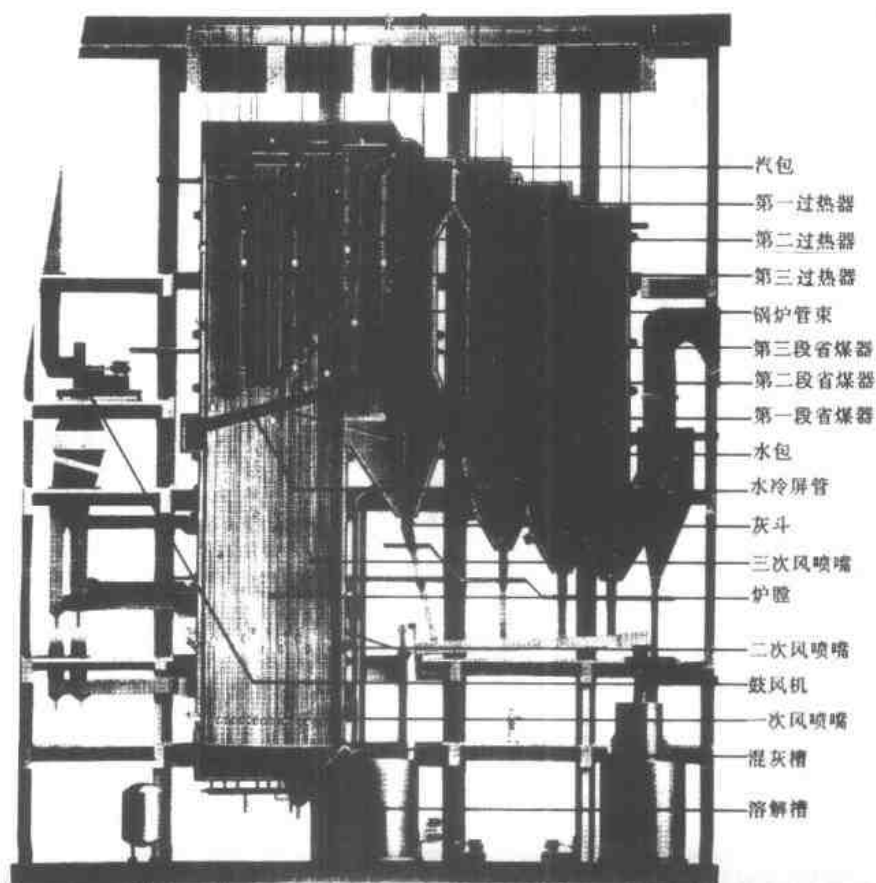


图 10-17 带大省煤器区的新型 Tampella 碱回收炉

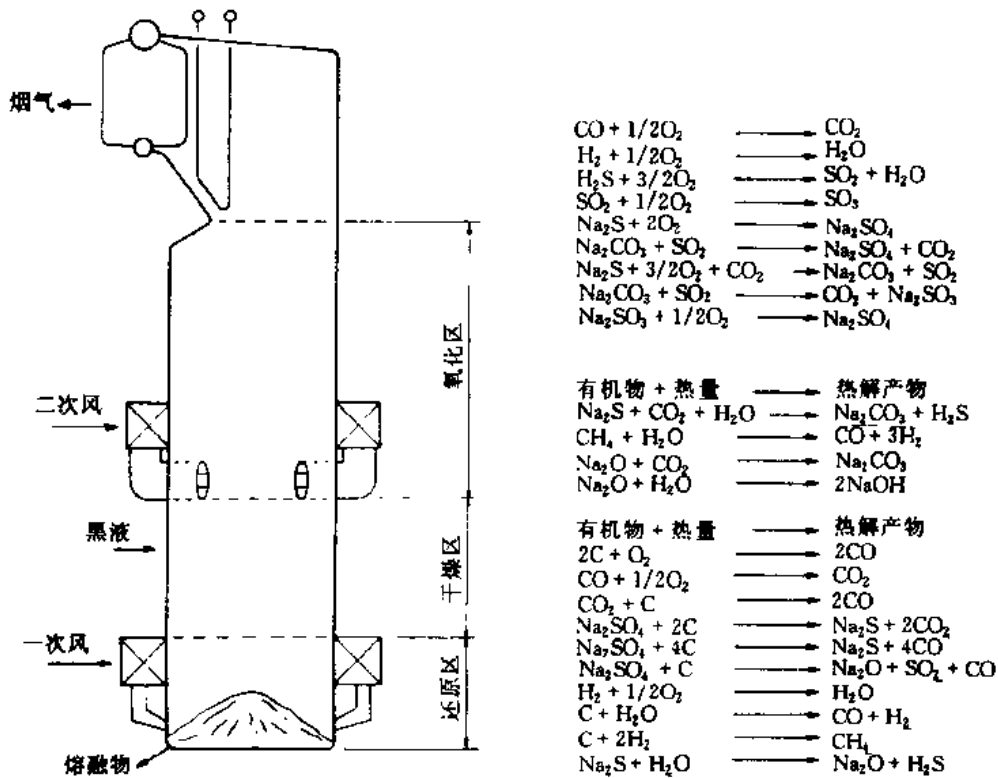


图 10-18 在炉膛区域的化学反应 (C-E 公司)

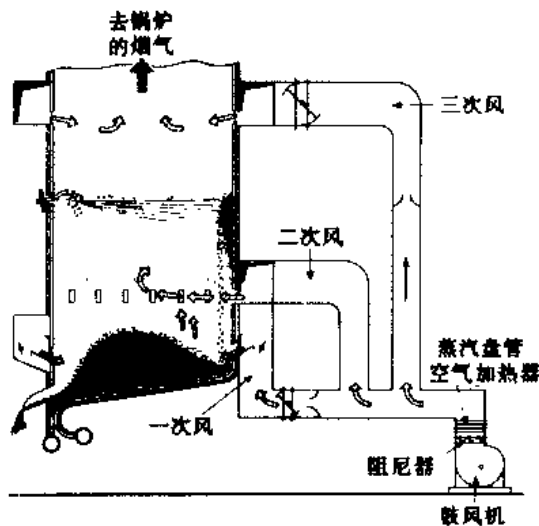


图 10-19 B&W 公司碱炉炉膛的垫层与空气分配

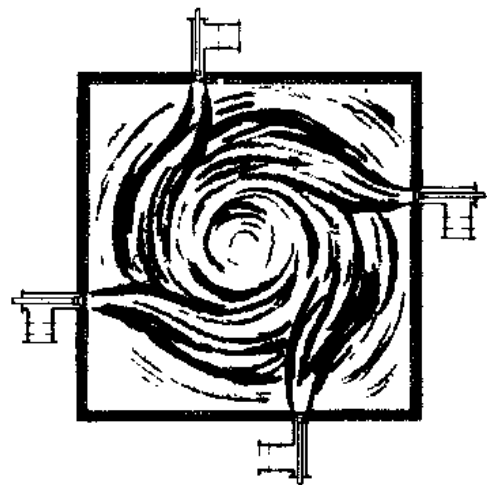


图 10-20 老一代 C-E 碱炉炉膛的俯视图，说明二次风切线进入并混合的模式

25mm 翅片。锅炉给水最先进入省煤器管，吸取低值热量，然后流到产汽的汽包（或称上汽包），并经一组紧密排列的立管管束下到水包（或称下汽包）。

水流从水包经过大口径下水管到炉膛下部的分配联箱系统，然后经供水管进入炉壁联箱。水流上到炉壁并返回进入汽包。如果以通常所说“水冷屏管理体制 (Screen tubes)”用作炉膛上方的第一吸热面，可采取独立的水循环回路（或有时为蒸汽循环回路）。蒸汽在汽包内分离

出来的蒸汽再流经过热器管。最终的蒸汽温度可达 480°C (参见 25.3 节锅炉通用资料)。

烟气流与热传递

锅炉部分可以看作是烟气及其固形物的冷却器。烟气挟带的固形物在与过热器管接触以前冷却到熔化温度以下是非常重要的,这样碱灰与尘粒就不会牢固地粘附在管上并形成一个隔离层。这种尘粒沉淀物要用来回移动的高压吹灰器定期地将其从管上除去。钠盐的临界温度一般为 800°C 左右,但在有 NaCl 参与化学品循环时还要低一些。典型的碱回收炉相当高,足以使烟气与挟带固形物被水冷壁管冷却下来。

在烟气已经上升到炉膛顶部后,它们绕过一个鼻形导流板 (nose paffle), 并流经宽管距的水冷屏。接着烟气流经过热器与锅炉产汽区。最后,烟气在省煤器区冷却。经省煤器后,残留的显热可用以蒸发黑液 (在带有直接接触蒸发的碱炉中), 或不大常见的是,加热入口的空气。另一种方式是,烟气直接进到电除尘器,在这里尘粒被电离集中于电极上,并被排入浓黑液槽 (在“湿底”除尘器中) 或经过一个输送机进入混合槽 (在“干底”除尘器中)。给水、蒸汽与烟气的流程示于图 10-22 和图 10-23。

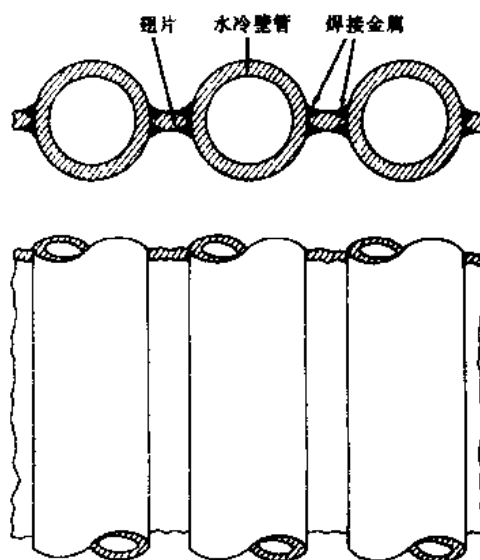


图 10-21 水冷壁结构 (Babcock 与 Wilcox 公司)

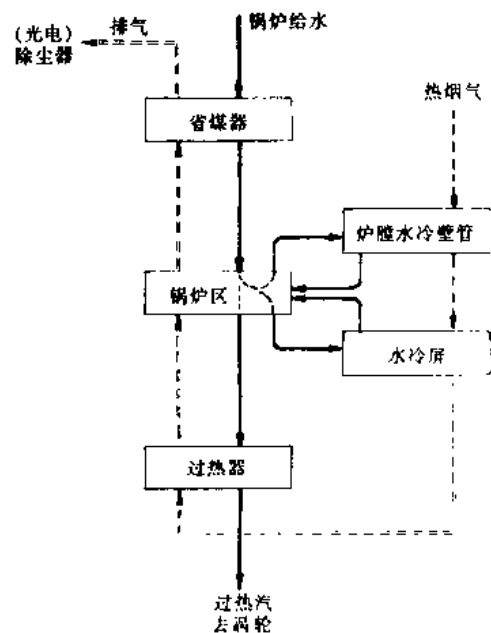


图 10-22 碱炉的水、蒸汽与烟气流程图

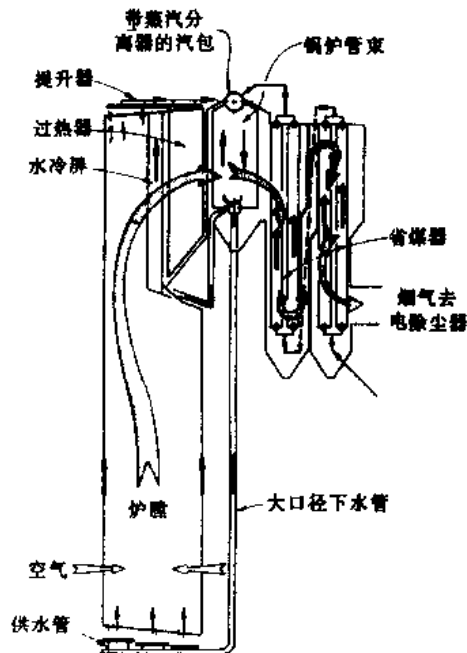


图 10-23 烟气流动和循环简图 (Sandwell 公司)

碱回收装置的额定能力

随着入炉黑液固形物负荷的增加,使得进入过热器区的烟气及其挟带固形物的温度也同时增加。如炉子超过其最佳生产能力,过热器中烟气温度高到足以使悬浮物中灰粒呈粘胶状

时，水冷屏和过热器的堵垢就无法用机械吹灰器控制住。

额定能力通常是指在 24h 时间内所燃烧的固形物质量。新式炉子也可根据热力负荷即炉子所产的热量来确定。通常老式炉子设计得比较保守，这类炉子有些在额定能力的 140% 之下运行，并不是罕见的。而新式碱炉则一般只给予很少的能力富裕。

操作变数

除了炉子负荷（事实上除了避免超负荷，操作者是可以不控制的）外，主要控制的操作变数是燃烧气体的数量和分配。应保持一定水平的剩余氧气（通常为 1%~2%，相当于 5%~10% 剩余空气，），以确保完全燃烧和最大限度地减少臭气排放。还原效率一般由一次风的相应量来控制；必须小心地避免使垫层过分“饥饿”，以免离开炉子的熔融物中含有大量元素碳。

其他可影响操作的变数为黑液的成分、固形物含量与温度以及喷枪压力。

热效率

碱炉的热效率一般是指在所产蒸汽中真正兑现的黑液燃烧值的百分数。老一代没有黑液氧化的碱炉热平衡（如图 10-24 的 Snkey 平衡图所示），表明其热效率为 61%。新型低臭炉设计可获得高达 68% 的热效率。影响热效率的主要因素是出口烟气温度、黑液固形物浓度和芒硝加入量。

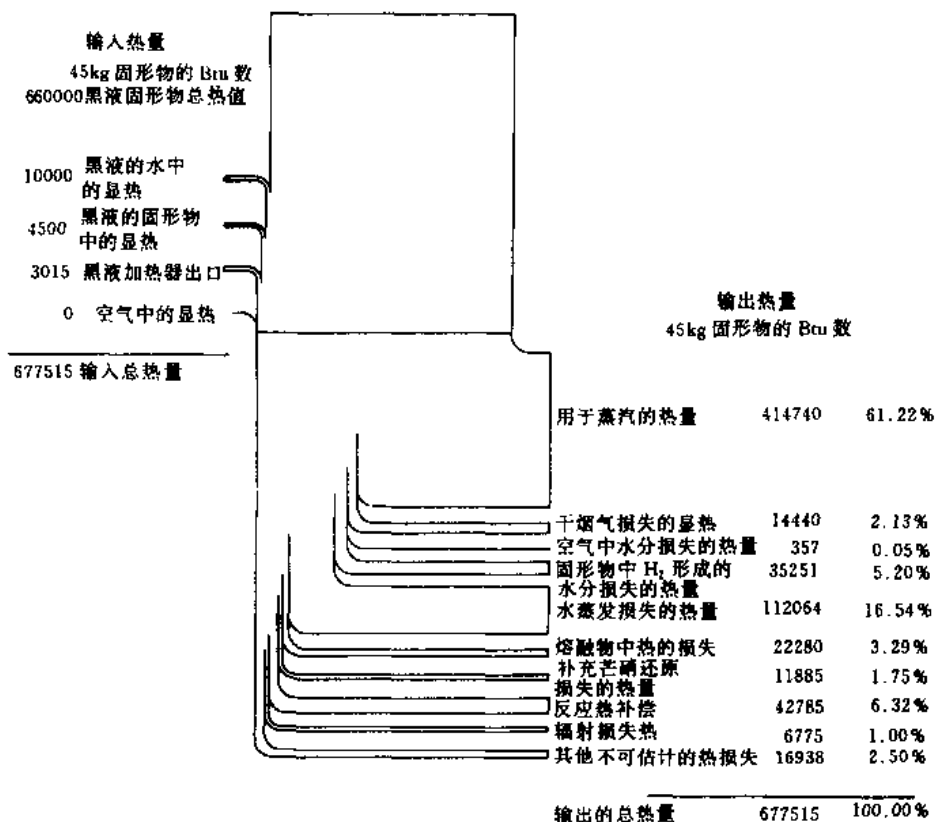


图 10-24 老一代碱回收炉的热平衡

通常，锅炉出口烟气约需 130℃ 的最低温度，以避免形成腐蚀性很强的冷凝液（例如硫酸）。但超过此温度太多，则代表大量有用潜热的损失。根据经验，烟气温度提高 15℃，相当

于降低热效率 1%。

低黑液固形物浓度意味着有更多的热要消耗在蒸发水分上。黑液浓度降低 2% (在正常范围内) 大致相当于降低热效率 1%。

在炉床上氧化性硫化化合物的还原作用是吸热反应, 它从系统吸走有用的热能, 这对热效率有负面影响。将芒硝加入到黑液中也有同样影响, 每吨浆加入 33.75kg 的芒硝量使热效率降低 1%。

粉尘的收集

带直接接触蒸发器和湿底电除尘器的碱回收炉典型黑液流程简图示于图 10-25。从贮槽来的浓黑液首先来到除尘器的底部, 在这里黑液“吸取”从电极上掉下来的化学品微粒 (主要是 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$, 如果除尘器是“干底”型的则有一系列螺旋输送机或刮板式输送机将这些物料送入化学品灰槽)。接着, 将黑液泵到直接接触蒸发器, 黑液通过蒸发并进一步吸取所接触烟气带来的粉尘, 而使其固形物浓度增加。除了从碱炉灰斗收集 (通过沉降和吹灰器) 来的化学品粉尘外, 补充的芒硝也一同加入到混合槽的黑液中。

化学品回收效率

大多数现有硫酸盐浆厂需要补充的钠量相当于 $9 \sim 14\text{kg Na}_2\text{O/t}$ 绝干浆。这些加入量表明碱回收的效率为 97%~98%。回收效率可看作是通过制浆和碱回收循环圈的钠的单程留得率。

芒硝 (Na_2SO_4) 是硫酸盐浆厂使用的传统化学品, 用以补充钠和硫, 但现在已大量地被烧碱或碳酸钠所取代, 以减少进入到循环圈中的硫。在 20 世纪 60 年代典型的硫酸盐浆厂中, 硫的损失率远远高于钠, 所以多余硫的积存不是个问题。但在现代浆厂中, 硫的回收效率几乎等于钠, 所以就不能使用提供等量钠和硫的化学品。在浆厂中由于将从二氧化氯系统来的废硫酸加入到黑液系统, 所以一般就根本不加芒硝了。

熔融物跟水的爆炸

随着 20 世纪 30 年代 Tomlinson 炉的广泛采用, 硫酸盐制浆工业就不时受到严重的碱回收炉爆炸的困扰。经过对这类事故的全面调查, 大多数确定为是由于水与熔融物的爆炸性混合而引起。现在根据设备制造商与用户之间的广泛共识, 所有碱炉一旦遇到任何水管泄漏, 都必须启动紧急停机程序。

同样, 碱回收炉的通用操作规程总是着重强调安全方面。特别关注熔融物排入溶解槽的程序上。图 10-26 列示了一个典型系统。随着熔融物流过水冷却槽, 物流首先被蒸汽射流击碎, 然后进一步被大容量循环喷洒液击碎, 目的是消除熔融物的高度集中而导致爆炸。即使如此, 溶解槽还安装了超容量排气装置以便在一旦发生爆炸时迅速排除压力。

黑液回收炉咨询委员会 (BLRBAC), 一个代表研究者、制造商、操作者和保险商的国际团体, 已经发布了一套碱炉的安全标准和要求。BLRBAC 所属小组委员会定期审查所有操作故障和意外事故报告, 以使标准能不断适应新的要求⁽⁴⁾。

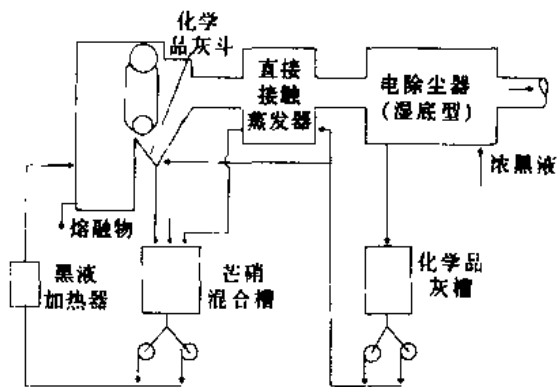


图 10-25 碱回收炉系统的黑液流程

的函数关系, 示于图 10-28。典型的工厂数据为低于相应平衡值 3%~6%。

绿液澄清与绿泥洗涤

绿液浓度由加入到溶解槽的稀洗涤液量控制。用稀洗涤液(来自白泥与绿泥洗涤)代替水以尽量减少绿液系统的稀释程度。然后将绿液澄清以除去不溶性杂物(即绿泥), 包括未燃炭和无机杂物(主要是钙和铁的化合物)。澄清器的通用型式示于图 10-29; 其操作基本上是沉淀与倾析。清液可泵去一个单独的贮槽; 但新型澄清器在澄清区上面有内设的贮存容量。

绿泥以浓缩泥浆形式被抽出, 与洗涤水混合, 一般再在另一个称作绿泥洗涤器(图 10-30)的沉降浓缩装置中沉淀。绿泥常在送去填地前, 用真空过滤机(它已用白泥预挂)进一步洗涤和浓缩。含回收钠化学品的清液, 称为稀洗涤液或稀液。

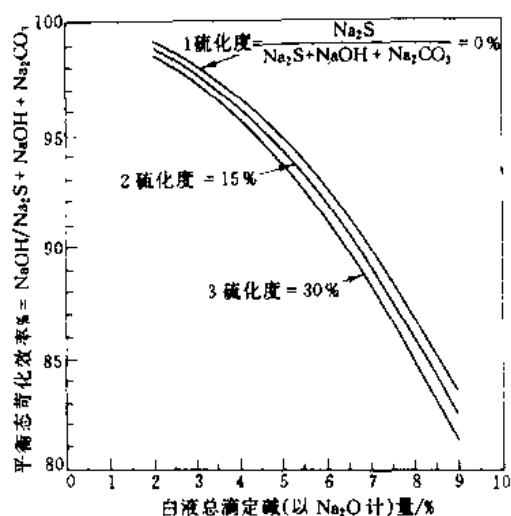


图 10-28 平衡态苛化效率与白液浓度和硫化度的函数关系

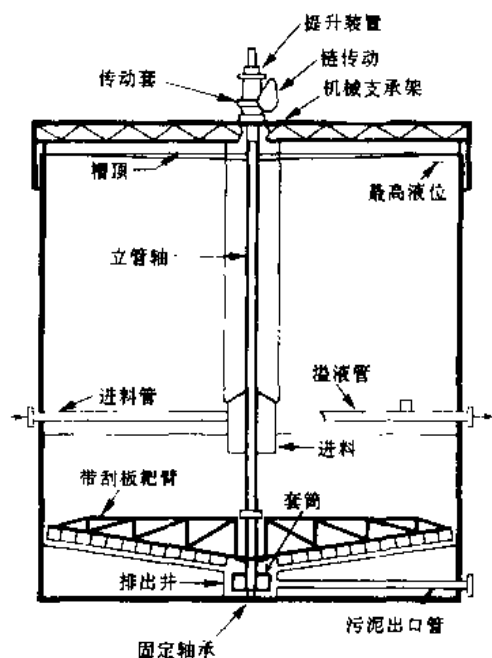


图 10-29 典型的绿液澄清器
(Dorr-Oliver 公司)

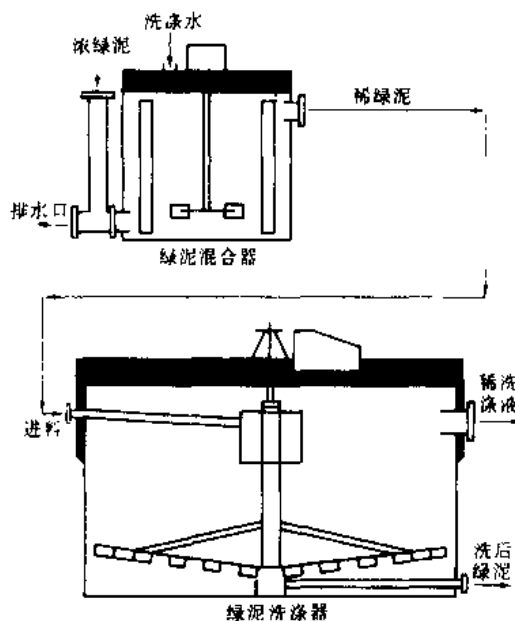


图 10-30 绿泥混合与洗涤器系统
(Dorr-Oliver 公司)

消化与苛化

绿液与再烧石灰(来自缓冲仓)按控制速度连续地送入消化器, 在消化器内, 高温与猛烈的搅拌促使生石灰(CaO)迅速转化成石灰乳(消石灰)。对随后的苛化作业与白泥沉降来说, 充分的消化很重要。石灰浆从混合区排出, 未反应颗粒(杂物)沉淀到底部并被耙出用于填地(参见图 10-31)。苛化的大部分反应也是在消化器中进行的。

如果石灰与绿液是在较高温度下进入到消化器, 由于放热反应可产生大量蒸汽。高温有

助于加快反应速率并确保良好的苛化效率。所有消化和苛化目前都在敞口的常压槽内进行。但经验数据表明,通过使用一个起到白液压力过滤和贮存作用的串联压力反应容器,可在生产和热力效率上获得很大好处。

白液连续地从消化器溢流入一组总共可停留约2h的搅拌槽,充足的时间可使苛化反应进行完全。采用两个以上串联槽(图10-32),可使反应混合物的短循环减至最少,并保证最大限度的转化。

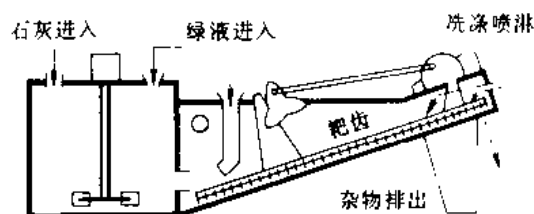


图 10-31 石灰消化澄清器 (Dorr-Oliver 公司)

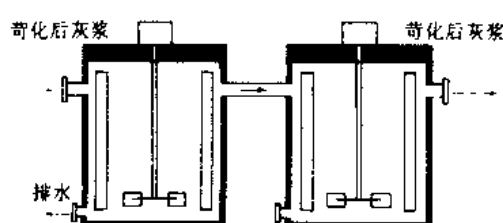


图 10-32 典型的串联苛化器装置 (Dorr-Oliver 公司)

白液澄清与白泥洗涤

为了避免漂白浆带色问题以及为了从白液循环中消除不起化学作用的隋性物,以澄清白液进行蒸煮是十分重要的。澄清作业的主要部分,通常是在与绿液澄清一样的设备中进行(参见图10-30)。有些生产高质量漂白浆的工厂可在沉降澄清以后再用抛光过滤器(polishing filter)处理,以保证蒸煮液获得最大限度的澄清。目前造纸工业的倾向是取消沉降式澄清器而利用过滤设备(如图10-33所示)实行整个澄清作业。

从澄清器浓缩区(或从过滤器)降流下来的白泥,是在高固形物含量(一般为35%~40%

固形物)下泵送的,而且通常在沉降设备中进行稀释与洗涤。有时使用两段稀释洗涤与增浓。白泥系统还包括一个贮存槽以便能均一而不断地将白泥供给白泥过滤机(图10-34),过滤机脱去白泥水分作为石灰窑的进料。

操作与操作问题的变数

干扰苛化作业的常见问题

- 苛化效率低而不稳定

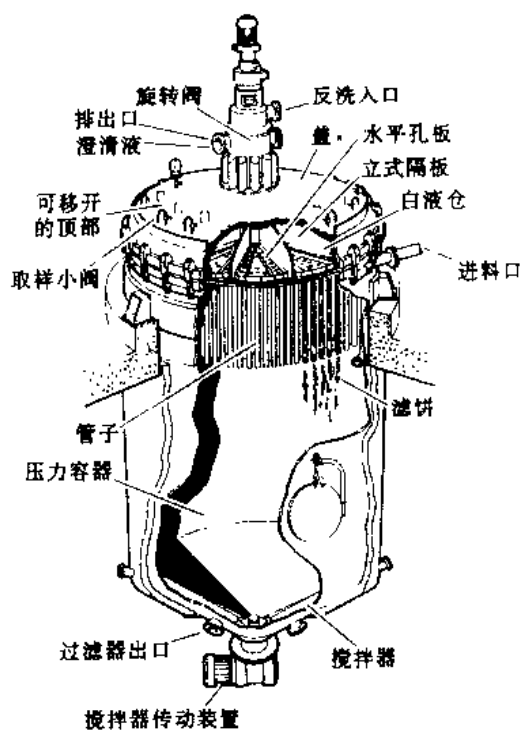


图 10-33 “Clarifil” 白液过滤器
(Dorr-Oliver 公司)

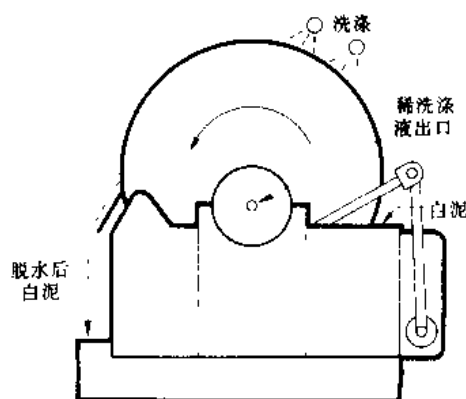


图 10-34 预挂式白泥过滤机 (Dorr-Oliver 公司)

- 绿泥除得不够充分
- 白泥的沉降或过滤性能差

这类问题互相都有关联。要控制好苛化反应,要求去消化器的绿液有均一的流量和质量,以及对质量一致的再烧石灰有严格的计量。如果绿液浓度或活性发生变化,或者如果石灰的可用性或反应性不稳定,苛化效率也会不同。为提高苛化效率,消石灰略超过一点(1%或2%)是必要的,但超过太多则将对白泥的沉降性能有负面影响。

碱炉的操作对苛化工段有严重影响。还原效率的波动将影响绿液的活性和(或)生成的绿泥数量。如果绿泥被带入苛化反应中,它们大多留在白泥中,可能会对白泥的沉降性和再烧石灰的活性产生负面影响。影响苛化工段操作规程的最重要变数归纳在表10-3中。关于苛化过程操作与控制方面的进一步资料建议参阅参考文献(5)、(6)和(7)。

表 10-3

影响苛化工段操作的变数

绿液	石灰	操作因素
<ul style="list-style-type: none"> • 绿泥挟带量 • 浓度均一性 • 活性和硫化度 • 温度和流量 	<ul style="list-style-type: none"> • 可用性(%CaO) • 反应活性(“苛化能力”) • 加入量 • 焙烧方法 	<ul style="list-style-type: none"> • 搅拌方法 • 苛化反应的停留时间

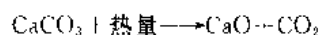
10.5 白泥焙烧

苛化工序消耗生石灰(CaO),并产出白泥(CaCO_3)作为副产品,焙烧(或石灰“再烧”)的目的是将 CaCO_3 又转化成CaO,以便重新使用于苛化过程。传统的石灰窑仍然是最为普遍的焙烧方法(这部分将集中在石灰窑工序中叙述)。但有少数工厂使用流化床系统;闪急焙烧系统则被认为是另一个方案。

典型的焙烧工序包含有三个阶段:

- (1) 干燥白泥;
- (2) 将白泥温度提高到焙烧反应所需的水平(约800℃);
- (3) 维持足够的高温时间以完成吸热反应。

所希望的反应是碳酸钙分解成生石灰与二氧化碳



控制良好的焙烧,将获得含90%~94% CaO的产品,并可与绿液迅速反应。过高的温度以及过多的化学杂质可加速非活性的玻璃状粒子的形成。从而可能作为“砂粒”被从消化器排除。

新型焙烧作业的耗热量详列在表10-4⁽¹⁾中。许多老系统由于设计或操作上的制约,需要更高能耗。这些制约表现在较高的出口气温、较高的碳成品温度,以及较高的辐射热损失。

石灰窑

典型的石灰窑列示于图10-35。湿白泥进入到石灰窑的高端,随着窑的转动,固相物料跟热气流呈逆向移动。在“冷端”将热量传给白泥更为有效,通常利用联结到窑壳体并悬挂在热气流中的钢链来扩大传热表面积(图10-36和图10-37)。在窑的较热区域,金属壳体衬以耐火砖。

表 10-4 石灰焙烧的耗热

条件	<ul style="list-style-type: none">• 进料白泥水分 35 %• 成品温度 350 C• 成品含 CaO 90 %• 过剩空气 10 %• 出口气体温度 230 C	
能耗	1000Btu t 成品	(1000kJ/t 成品)
出口气体中的热		
• 水的显热与潜热	2410	(2284)
• 烟气	1240	(1175)
• 从 CaCO ₃ 分解的 CO ₂ 气体	140	(106)
分解热	2500	(2370)
辐射热	1000	(947)
石灰成品中的热	300	(284)
总计	7600	(7200)

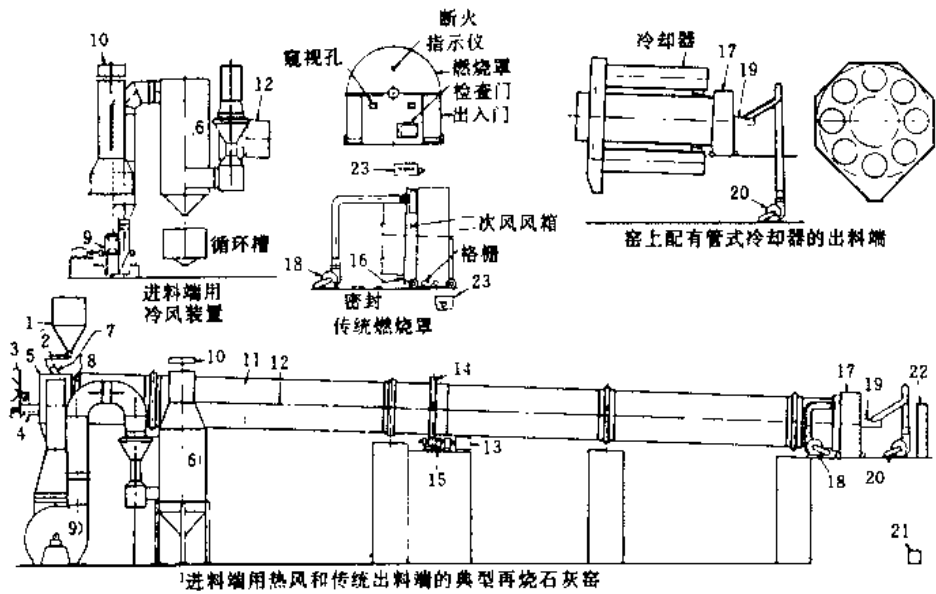


图 10-35 石灰窑设备布置图 (Fuller 公司)

- 1—料仓 2—进料器 3—离心过滤器 4 进料螺旋 5—进料端外罩 6—洗气器 7—进料口
8 进料端气封 9—引风机 10—烟囱 11—链子 12—窑体 13—电机与传动 14 矢圈 15 辅助传动
16—风箱密封 17 燃烧罩 18 二次风机 19—燃烧器 20—一次风机
21—燃油泵及加热装置 22 仪表 23 大块石灰破碎机

随着温度升高，白泥物料借助于窑的滚动与抛掷作用而变得塑性化并形成小球。凝聚物的规格一般在约 3cm 直径的范围内，有时小球会增大，形成“大球”，或粘附到耐火砖上形成“环圈”(图 10-38)。在再烧作业中，白泥的钠含量对其凝聚性能有重要影响，一般控制 Na₂O 含量低于 1%。

窑的“热端”利用燃烧油或瓦斯，维持在 1150~1250℃。从窑成品中回收热量时，再烧

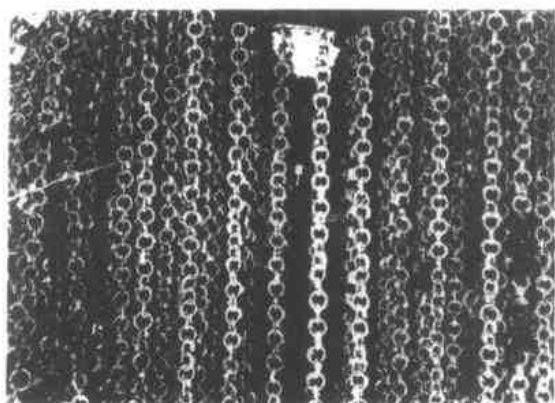


图 10-36 石灰窑中的帘式钢链系统 (Fuller 公司)

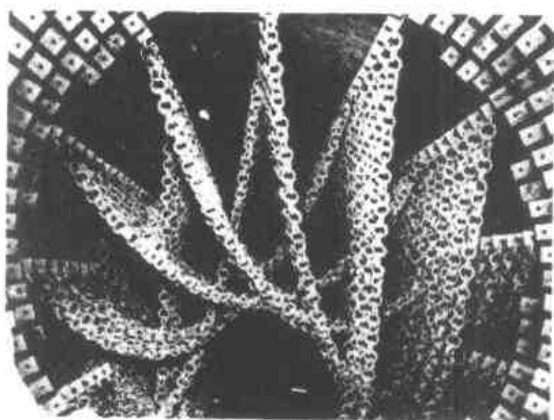


图 10-37 石灰窑中的花环式钢链系统 (Fuller 公司)



图 10-38 这些大的环状沉淀物是用枪击从窑中取出来的 (Weyerhaeuser 公司)

石灰的排出温度约为 950°C 。大多数新型石灰窑都配有管式冷却器，使成品直接接触入口空气，以回收其大部分热量 (图 10-39)。这类冷却器联接到窑的出料端，并使焙烧石灰落入某

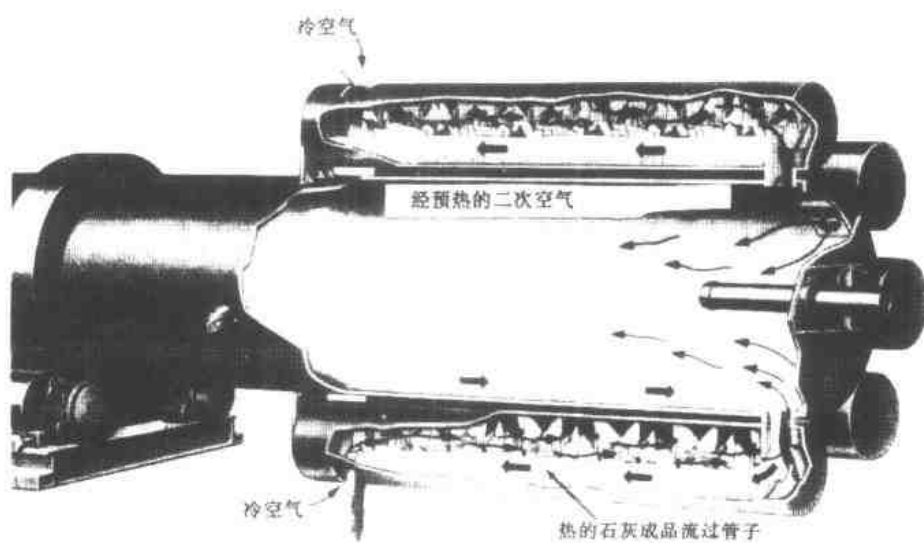


图 10-39 结合在石灰窑上的管式冷却器，用以回收来自高温成品的热量 (Allis Chalmers 公司)

个冷却器；然后石灰反向并上行（逆气流方向）到冷却器的对立端，在约 350℃ 温度下排出，利用鼓风机向石灰窑供给空气，但主要还是靠引风机抽吸穿过窑体的烟气。

离开石灰窑的烟气挟带着大量粉尘，必须在排出前进行净化。多数情况下，粉尘被设计良好的洗气器除去，最常用的是文丘里型洗气器（见第 27 章）。最近电除尘已成为此用途的首选设备，特别是在最大规格的石灰窑。曾讨论过用编织物过滤器作为有效除尘的可行性，但这种方法没有在造纸工业中获得认同。

通常为获得最佳的时间与温度平衡, 以及为获得最好的热效率, 需要有长径比超过 30 的大石灰窑。停留时间受窑体斜度和转速的控制; 斜度设计一般在每米长 2cm 与 4cm 之间; 转速变化从 0.5~1.5r/min。停留时间应在 2~3h 范围内。关于影响生产率与燃料节约的评述以及提高质量的措施可见参考文献 (8) 和 (9)。

许多在运行中的老式窑仍受到低长径比的困扰。这些老窑也经常严重超荷。所幸的是，实际上现已有可能加长现有的窑，即将蒸发区移置到壳体以外，用整个窑长度来进行焙烧。图 10-40 列示出一个使用闪急干燥器与笼式粉碎机的典型系统，它利用石灰窑出口烟气来干燥入窑前的湿白泥。

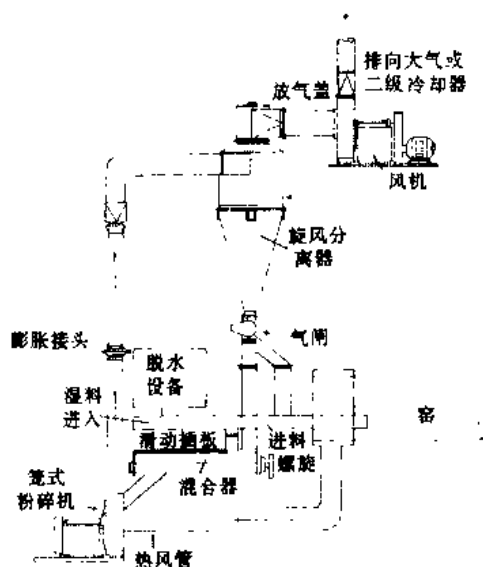


图 10-10 利用窑出口的烟气预热入口白
泥的闪急干燥系统 (C-E Raymond)

流化床焙烧器

一个流化床再烧系统示于图 10-41。从流化床排出的烟气用以干燥白泥，然后将白泥收集在两个旋风分离器中并排入料仓。干白泥被吹入焙烧床，并喷入燃料进行燃烧，几乎很快就转化成石灰小球。重球粒落入冷却室，轻粉尘则随空气再循环以干燥白泥。

系统的位置紧凑，占地比同样能力的石灰窑少得多，并能生产出高质量的规格均一的石

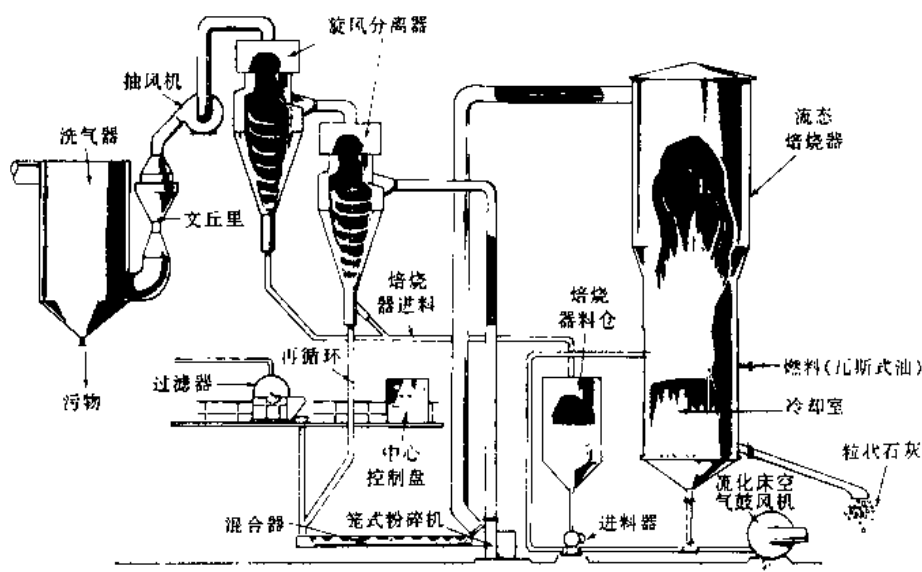


图 10-41 白泥再烧用的流化床系统 (Dorr-Oliver 公司)

灰。还有的其他优点是，良好的热效率以及开机很容易。虽然这类系统已使用了 20 多年，但在制浆造纸工业中使用还不到 20 台。流化床系统的经济性对较小规模的工厂来说更为有利。

闪急焙烧

闪急式或气体悬浮式焙烧是最近发展起来的，至少有两家制造厂商倡导这项技术作为制浆厂石灰再烧的另一个方案。例如 Fuller 公司已有 25 个以上不同物料的闪急焙烧系统在运行中。系统的核心部分是漩涡式焙烧炉，在炉内燃烧的燃料与被焙烧物料紧密接触。Fuller 公司要求湍动漩涡的混合物有均一的温度分布，而传统火焰温度由于物料迅速吸收多余热量是绝对做不到的。

10.6 副产品回收

碱法制浆有两个副产品具有经济上的重要性：即松节油和塔罗油。两者均从含脂木材（如南方松）大量获得。虽然对化学品加工设备的要求较高，但这些副产品对硫酸盐制浆生产的利润率有重要贡献。

可惜近年来对松节油和塔罗油两者的需求呈极端的周期性波动，这种反复无常，反映在这类商品的市场价格上。在市场不景气时，要求工厂使用某种副产品（或两种都用）作为自用燃料，而不是将它们低价卖给加工厂。

松节油

松节油主要是从蒸煮放气回收的，如图 10-42 所示的间歇蒸煮系统。将蒸煮放气引入一个旋风分离器，除去所挟带的液体，然后去到一个冷凝器，在这里将蒸汽和松节油冷凝，热量则被水带走。冷凝液排去一个滗析器（decanter）（图 10-43），将松节油与水分离成两个液相。

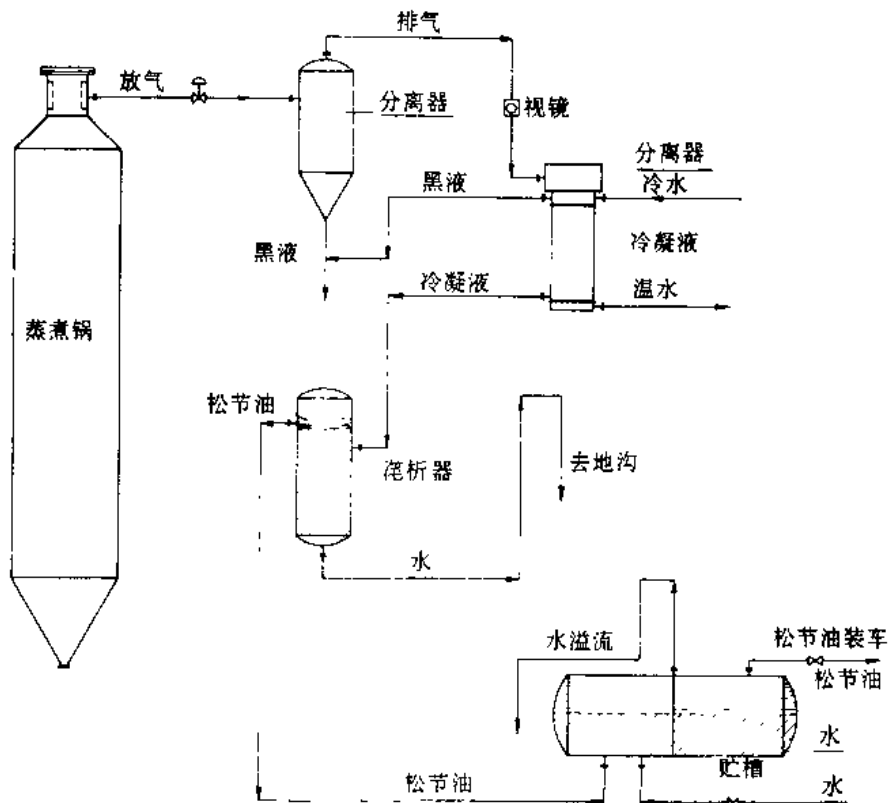


图 10-42 典型的硫酸盐间歇蒸煮锅松节油回收系统

分别从顶部溢流和从底部排出。水与其他污冷凝液混合进行汽提,松香油则流入贮槽。在贮过程中,额外的水与松节油分离并被定期排放。

松节油是许多环状化合物的混合物,主要是萜烯和 turpenes。松香油原料卖给化学加工厂进行分馏并转化成许多产品,包括樟脑、合成树脂、溶剂、浮选剂和农药。

塔罗油

在松木和其他材种中的含脂物是由脂肪酸以及固醇和有关醇类所组成。在硫酸盐蒸煮期间,脂肪酸和树脂酸被皂化,即转化成钠皂,并溶解于蒸煮液中。(从属性上说,钠皂可称为有机酸络合物的金属盐。)

随着黑液的蒸发,塔罗油皂的溶解度下降,直到 25%~30% 固形物时达到最低限。实际做法黑液一般经过两个蒸发效的浓缩后泵去撇析槽。撇析槽要很好地设计,以尽量减少湍流并为良好的分离而提供充分的停留时间。在撇析槽内,钠皂(以及若干“不皂化物”)上升到表面并被除去,而撇析过的黑液则送往下一个蒸发效。回收的钠皂使其在贮槽内沉析,以除去多余的混杂水分。

为了更好地分离钠皂,通入空气和化学助剂证明是有效的⁽¹¹⁾。空气泡粘附到皂粒上增加了它们的浮力,将 0.5%~1.0% (体积百分比) 的空气加入到撇析槽泵的入口侧,可以增加粗塔罗油回收率到 10%。使用木素磺酸盐助剂,可望提高回收率到 13%。

有些厂将回收的钠皂售给化学加工厂,不再进一步精制。但也有大量工厂,特别是可从其他工段获得废硫酸的厂家,实行酸化处理以便将钠皂转化成塔罗油并回收钠,而一部分硫酸(H_2SO_4)则转化成芒硝(Na_2SO_4)、酸化后的混合液,使其在沉降槽中分离、或使其通过一个连续离心分离机进行处理。含有硫酸钠与残余木素的酸性液(盐水)则加入到黑液系统。粗塔罗油用热水洗涤,以除去游离酸并在外售前让其在贮存槽中进一步沉降。塔罗油加工系统的简图,示于图 10-44。

塔罗油的得率和化学品补充,取决于制浆原料,即材种、树木砍伐时的相应成熟度以及木片贮存的方法和持续时间。若干典型数据示于表 10-5。

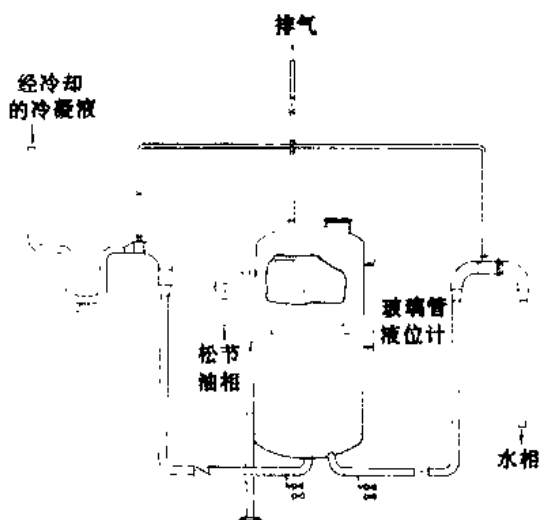


图 10-43 松节油撇析系统
(MoDo Chemetics 公司)

表 10-5 北美不同地区的典型塔罗油得率与成分 (Janes)

	各成分所占百分率				
	得率/lb · (t 浆) ⁻¹ (kg · t ⁻¹)	树脂酸	脂肪酸	不皂化物	
南部各州	90	(40.5)	46	40	14
大西洋中部各州	80	(36)	39	48	13
加拿大	40	(18)	43	32	25
S. 西部各州	125	(56)	48	36	16
东 Cascade	50	(22.5)	30	41	29
西 Cascade	30	(13.5)	43	27	30

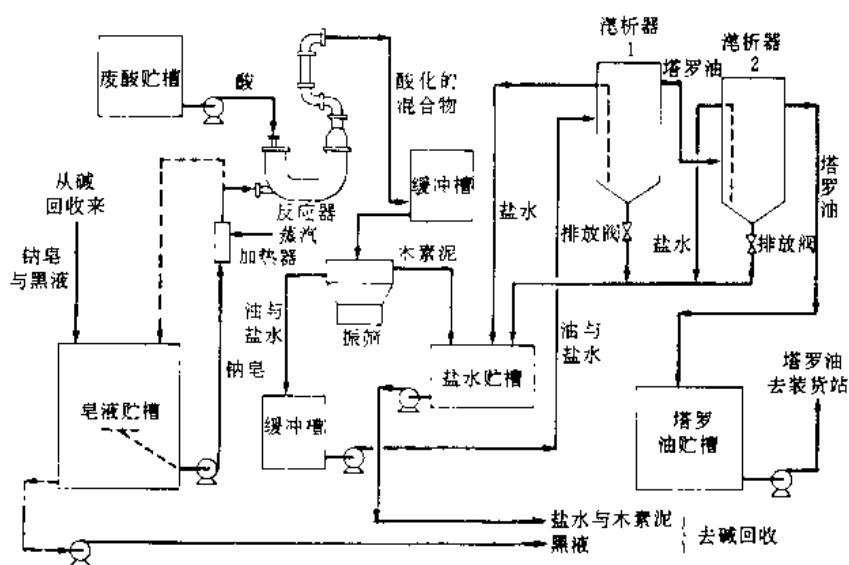


图 10-11 塔罗油酸化的连续法工艺

在化学加工厂，粗塔罗油借真空蒸馏分离成树脂油与若干脂肪酸组分。这些物料可用于制造很多产品，包括肥皂、润滑剂、表面活性剂与纸张施胶剂。

10.7 亚硫酸盐法废液的回收

亚硫酸盐法回收技术自 20 世纪 50 年代以来就已广泛发展。根据所用工艺，有可能进行热的回收、硫的回收或同时进行盐基化学品与硫的回收。

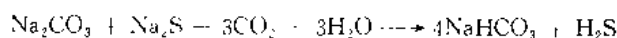
钙盐基废液的燃烧由于形成硫酸钙 (CaSO_4)，所以只能回收热量。而铵盐基废液，则可进行带硫回收与不带硫回收的热回收，但不能回收盐基，因为氨转化成元素氮。

镁盐基的化学品回收，利用不太复杂的工艺即可做到。废液浓缩并在特别设计的炉子中燃烧。它与硫酸盐法废液的燃烧不同，并不生成熔融物。相反，化学品以氧化镁 (MgO) 灰粉和二氧化硫 (SO_2) 气体形式与烟气一起吹掠过锅炉。80%~90% 的灰粉用旋风分离收集器分离出来；其余的灰粉与 SO_2 在气/液接触器中从烟气中除掉。用作洗气液的是从 MgO 消化而得的氢氧化镁溶液，从而又重新制得蒸煮液。一个代表性的系统示于图 10-45。

钠盐基回收

有几种从钠盐基亚硫酸盐废液回收化学品的工艺，是基于在硫酸盐法型回收炉中燃烧浓缩废液。所得的熔融物类似于燃烧硫酸盐法废液的产品成份。其主要差别是后者熔融物的硫化度与烟气 SO_2 含量明显高于亚硫酸盐法废液。剩下的工作是将熔融化学品转化成再生蒸煮液；为此目的而进行的各种开发工作已以 Rauma、Tampella 和 Stora 法实现了商业化^[12]。

图 10-46 示出 Rauma 法回收钠的简图。含有 Na_2S 和 Na_2CO_3 的绿液与 CO_2 在碳酸化塔中起反应，生成 NaHCO_3 与游离 H_2S



所生成的碳酸氢盐然后在分离器中热解，生成上述起碳酸化作用的 Na_2CO_3 与 CO_2 。大部 Na_2CO_3 与 NaHCO_3 在反应中生成 Na_2CO_3 与 CO_2 。 Na_2SO_3 部分然后用于制备蒸煮液和用于亚硫酸化。在亚硫酸化阶段， Na_2SO_3 与 SO_2 反应，生成亚硫酸氢盐 NaHSO_3 ，亚硫酸化用的

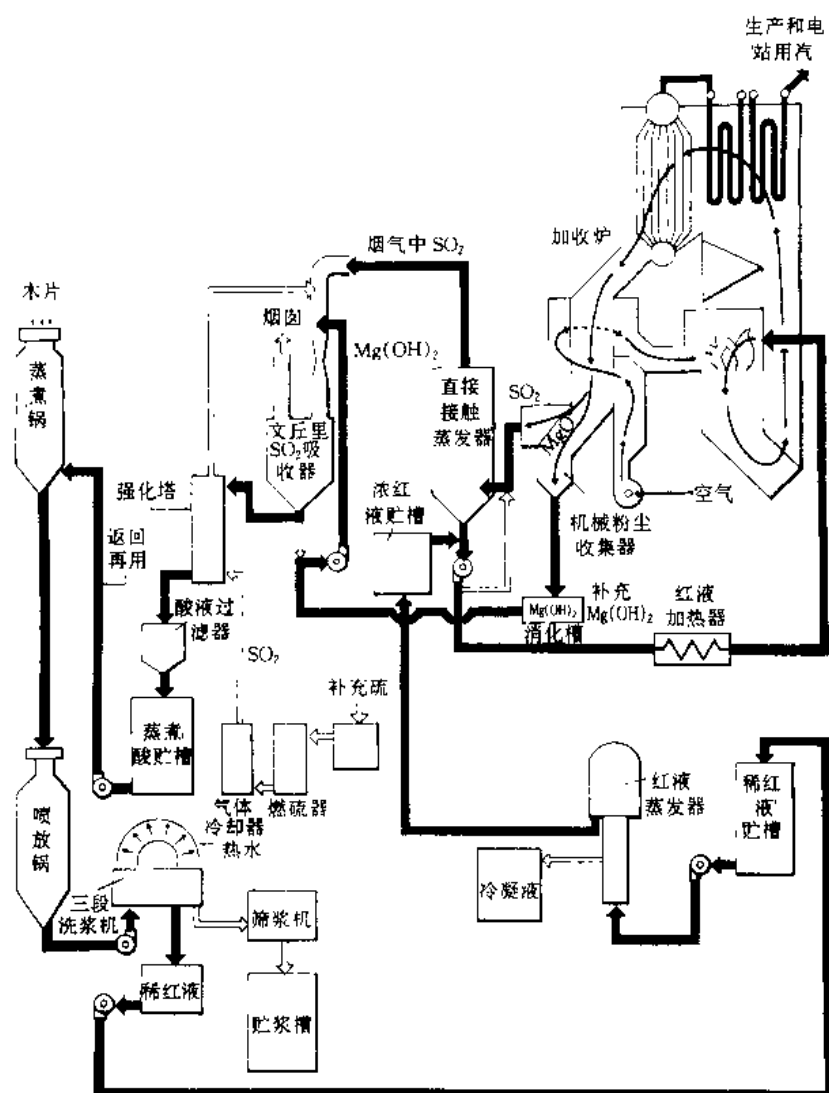


图 10-45 亚硫酸氢镁化学品回收系统

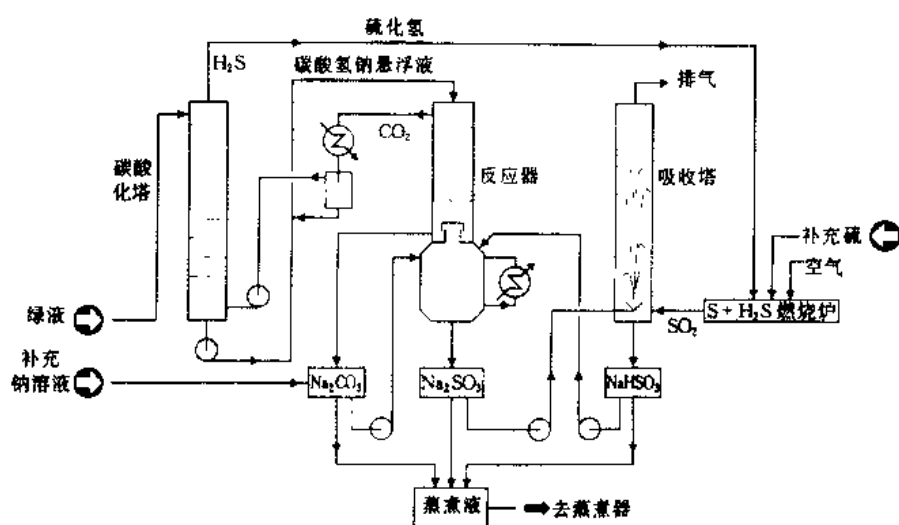


图 10-46 钠盐基回收的 Rauma 法

SO_2 是借燃烧 H_2S 以及补充硫而得到的。

图 10-47 示出 Tampella 法的钠回收。含 Na_2S 和 Na_2CO_3 的绿液与烟气部分地碳酸化, 生成 NaHS 与 NaHCO_3 。

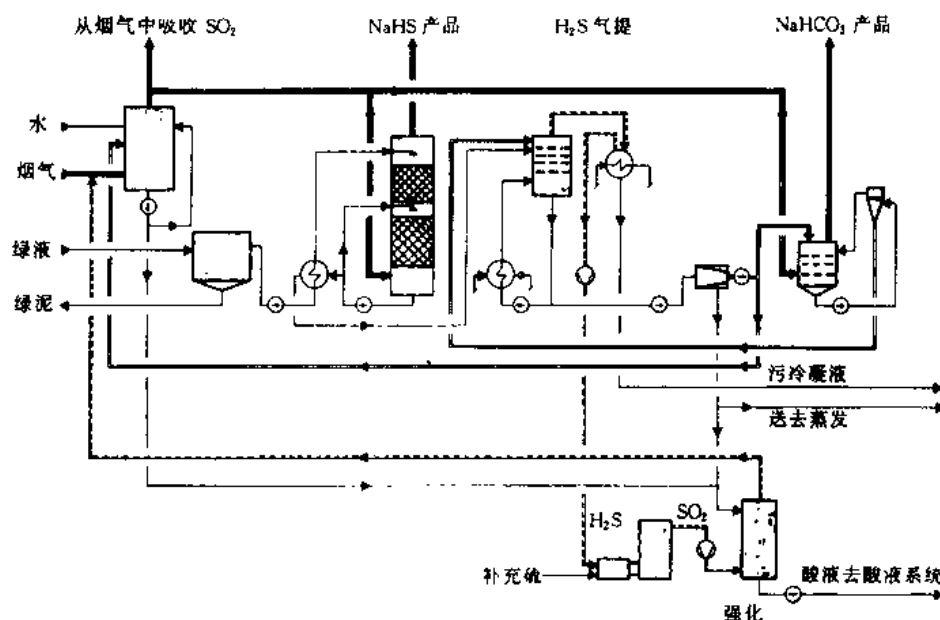
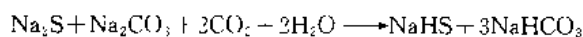
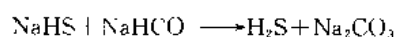


图 10-47 钠盐亚硫酸盐法化学品回收的 Tampella 法



预碳酸化的液体然后通过蒸汽汽提装置, 在减压状态下硫化钠 (NaHS) 与碳酸氢钠 (NaHCO_3) 反应生成游离的 H_2S 气体。



H_2S 气体与补充的硫, 燃烧生成 SO_2 , 然后 Na_2CO_3 吸收 SO_2 生成亚硫酸氢盐药液。Tampella 法比较灵活且能加以变更, 生产出不同蒸煮方法的药液。

10.8 硫酸盐法回收的其他方案

尽管多年来作了许多尝试去发展更好的回收技术, 但近 50 年来, 基本的硫酸盐法回收工艺的变化很少。尽管现有回收方法有许多优点 (证明可靠的技术、有效的化学品回收, 适应排放要求的能力、良好的热效率), 但也有若干严重的缺点 (投资费用高、需要有大规模的设备以保持单位成本的下降、熔融物与水爆炸的特殊危险性)。

一项有希望的研究是黑液气化。目前已有两种方法 (Chemrec 和 MTCI) 在制浆厂进入了中试阶段⁽¹³⁾。压力气化法也正在芬兰发展中。

另一项研究是使用直接在燃烧阶段生成烧碱的方法, 因而就不需要随后的苛化和焙烧工序。可使用若干化学品与碳酸钠反应以驱走 CO_2 , 这样当溶于水时最终的无机产物就自动苛化。

一个很好的研究装置是硼酸盐自动苛化, 它包括了用碱性硼酸盐溶液制浆, 但还没有在运行的商业化装置。

迄今, 还没有一项新技术可提供充分的效益, 证明在工厂规模值得冒风险的合理性。根

据 Grace 的意见⁽¹⁴⁾, 可诱使工厂去尝试新技术的 4 个激励因素是:

- (1) 相当低的投资费用。
- (2) 取消苛化与焙烧工序。
- (3) 提高能源利用价值。
- (4) 充分适应制浆与漂白技术的改变。

如果在新方法中具备所有这四个优点, 改革的推动力将是不可抗拒的。也许新方法将是气化法与自动苛化技术两者的综合。

参 考 文 献

- (1) MADDEN, D. J. **Advantages and Disadvantages of Diffent Types of Evaporators** *Pulp and Paper* (Buyer's Guide 1978)
- (2) CHANDRA, S. **Blow Heat Recovery Reduces Liquor Evaporation Requirement 25 % to 35 %** *Pulp & Paper* (November 1987)
- (3) MACCALLUM, C. and BLACKWELL, B. R. **Improved Air Systems for Modern Kraft Recovery Boilers** *P & P Canada* 88; 10; T392-395 (October 1988)
- (4) MCGEE, T. **The Recovery Boiler and the Insurance Industry** *Tappi Journal* (October 1986)
- (5) DORRIS, G. M. and ALLEN, L. H. **Operating Variables Affecting the Causticizing of Green Liquors with Reburned Lime** *Journal P & P Science* 13; 3; J99-105 (May 1987)
- (6) CAMPBELL, A. J. **The Effects of Lime Quality and Dosage on Causticizing and Lime Mud Settling Properties** *P & P Canada* 86; 11; T320-324 (November 1985)
- (7) LINDBERG, H. and ULMGREN, P. **The Chemistry of the Causticizing Reaction-Effects on the Operation of the Causticizing Department in a Kraft Mill** *Tappi Journal* (March 1986)
- (8) KRAMM, D. J. **Update on Lime Kilns...** (3, Parts) *Paper Trade Journal* (May 15, May 30, June 15, 1979)
- (9) PUHR, F. **Pulp Mill Lime Kiln Improvement Projects Produce Rapid Payback** *Pulp & Paper* (October 1988)
- (10) NORBOM, H. R. **Minor, Inexpensive Kiln Upgrades Yield Major Gains in Performance** *Pulp & Paper* (February 1985)
- (11) GUPTA, J. **Increasing Crude Tall Oil Yield** *Tappi Journal* 66; 10; 41-43 (October 1983)
- (12) PATRICK, K., et al **Sulphite Liquor Recovery for Canadian Newsprint Mills** *P & P Canada* 84; 8; T195-201 (August 1983)
- (13) EMPIE, H. J. **Alternative Kraft Recovery Processes** *Tappi Journal* (May 1991)
- (14) GRACE, T. M. **New Recovery Technologies** *PIMA Magazine* (October 1991)

第 11 章 漂 白

纸浆的白度是利用其具有反射单色光的能力,与一个已知的标准白度(通常为氧化镁)相比较而测得。最常用的仪器是可发出散射光源的 Zeiss Elrepho 反射仪。全漂亚硫酸盐浆测得的白度可高至 94 Elrepho 单位,而未漂硫酸盐浆则低至 15 Elrepho 单位。

未漂浆显现出有很宽的白度值范围(表 11-1)。亚硫酸盐法生产出白度相当高(达 65)的纸浆,而那些由硫酸盐法、烧碱法和半化学浆法所生产的纸浆白度可能非常低。机械浆的白度主要与制浆木材的品种与状态有关。一般地说,只有那些白度值超过 55 的木材品种才用于机械法制浆。

表 11-1 未漂浆白度的大致范围

白度范围	纸 浆 类 型	白度范围	纸 浆 类 型
15~30	硫酸盐浆	50~65	磨木浆、亚硫酸氢盐浆、亚硫酸盐浆
40~50	中性亚硫酸盐半化学浆、亚硫酸氧铵浆		

纤维素和半纤维素天然是白的,对纸浆颜色没有影响。通常认为木素结构上的发色团是导致纸浆颜色的主要原因;据称其机理是将木素的苯酚基部分氧化成苯醌型物质,而该物质已知是吸收有色光的。也已知道,重金属离子(例如铁与铜)与苯酚基形成有色的络合物。抽提物可能影响从含脂木材制取的机械浆颜色。

保存木素还是脱除木素

纸浆化学漂白有两种办法。一种是使用选择性地破坏若干发色团而不明显侵袭木素的化学品进行漂白。另一种办法则是几乎将所有的残余木素都脱除。

选择性漂白的办法(常称之为“增白”以有别于真正的漂白)用于木素含量较高的高得率浆。这个办法在多数情况下局限于获得 70 以内的白度;只有在很优越条件下才可获得 80 以上的白度;虽然所获得的白度增值可能很大,但没有一个已知的选择性增白方法具有耐久效果,暴露到光线和大气氧中即可使木素结构迅速变色,这从旧报纸可容易地观察到。增白技术将在 11.11 节讨论。

为了生产稳定的高质量纸浆(以及溶解浆),必须采取除去纸浆中木素的漂白方法。漂白的阶段一般可看作是开始于蒸煮的脱木素过程的继续。后阶段则是用氧化剂清除和消灭残余色素。整个漂白过程必须在纸浆强度性能和其他抄造性能受保护的前提下进行。

11.1 漂白流程

现代漂白是多段漂白,每段使用不同化学品和技术条件,每段之间一般都带有段间洗涤(如图 11-1)。

常用的多段漂白化学品及其简称符号如下:

氯化 (C)

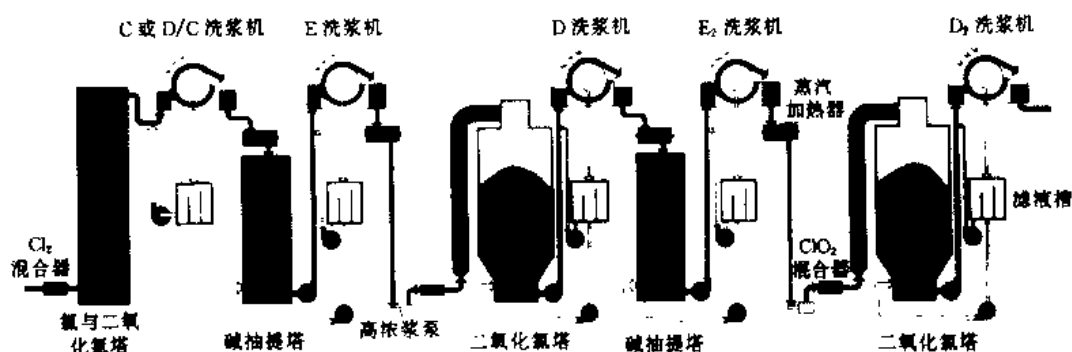


图 11-1 CEDED 漂白工段的流程图 (Dorr-Oliver 公司)

- 在酸性介质中与元素氯起反应

碱抽提 (E)

- 溶解掉与烧碱 (NaOH) 起反应的产物

二氧化氯 (D)

- 在酸性介质中与二氧化氯 (ClO_2) 起反应

氧化 (O)

- 在高压下于碱性介质中与分子氧起反应

次氯酸盐 (H)

- 在碱性介质中与次氯酸盐起反应

过氧化氢

- 在碱性介质中与过氧化氢起反应

臭氧 (Z)

- 在酸性介质中与臭氧起反应

使用简称符号来表述漂白段及流程的做法已非正式地沿用多年。但现代漂白过程的复杂性，伴之以多变的符号表示法，已使对漂白过程产生了误解。当前有必要遵循标准化原则，以有助于在技术交流中更为清楚明确。下面建议的一些规定引自 TAPPI 纸浆漂白委员会所颁布的综合议定书⁽¹⁾：

(1) 使用上述符号，一个传统的五段漂白流程，包括氯化、碱抽提、二氧化氯、碱抽提和二氧化氯，可表述为 CEDED。

(2) 当两个以上漂白药品以混合物形式加入或同时加入时，首先应表示主要化学品符号，并应将所有加入化学品的符号包括在括弧内，用一个加号将之隔离。例如，当在氯化段与氯一起加入少量二氧化氯时，其流程表述为 (C+D) EDED。如在氯化段中二氧化氯是主要化学品，则应表述为 (D+C) EDED。

(3) 当两个以上化学品按顺序加入，并在加入点之间混合时，符号表述应显示加入的先后顺序，并包括在括弧内。例如，当在氯化段中二氧化氯先氯而加入时，应表述为 (DC) EDED。

(4) 如果表示化学品的比例，其百分数应当紧接在所表述化学品的后面，并应折算成氧化当量表示。例如，术语 (D70C30) 表示顺序加入 70% ClO_2 和 30% Cl_2 ，全部以活性氯表示。

软木硫酸盐浆常用许多 4~6 段的漂白流程以获得 89~91 (%ISO) 的“全漂浆”白度水

平。大多数 CEHDED 和 CEDED 全漂浆系统都是从 20 世纪 60 年代与 70 年代开始运行的；现代浆厂的最典型流程为 (D+C) (E+O) DED 和 O (D+C) (E+O) D。段数较少所得的白度稍低。用 CEH 或 OIH 流程可以很容易地获得 65 白度水平。用 CED、DED、OCED、CEHH、CEHD 或 CEHP 可获得中等白度水平。在多数情况下，每个漂白段之后都有一个洗涤段，以除去反应产物；随后的漂白段遵循同样原则，形成另外的反应产物。因此工业上常使用酸、碱交替的流程。

亚硫酸盐浆与硬木硫酸盐浆比软木硫酸盐浆更易于漂白。这两者的木素含量均较低，在亚硫酸盐浆中的残余木素被局部磺化而更易于溶解。因此可使用更为简单的流程以获得同等白度水平。

漂白流程的前期阶段主要是脱除纸浆的木素。这部分漂白流程可视为蒸煮脱木素过程的继续。一般地说，明显的增白作用只发生在脱除残余木素之后。

短流程漂白

近来在设备设计和工艺控制上的进步，再加上碱抽提段的加氧，已导致后面漂白化学品用量的下降。这使得软木硫酸盐浆只用 3~4 段即获得 88 (%ISO) 白度的短流程漂白有了长足发展。最广泛采用的短流程漂白大概是 (D-C) (EO) D。

11.2 漂白化学品的制备

所有传统的化学品均可利用数量不等的能量从空气、水和盐水 (NaCl 溶液) 制取。因为原料很便宜，所以制造成本主要取决于多少能量。

氧

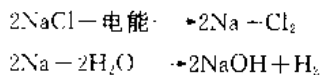
有两种系统用于制造氧气：即冷冻分离法和吸附分离法。前一种方法为以长途运输槽车供应液氧的制氧厂所广泛采用；有时则在使用量很大（即超过 80t/d）的纸厂现场生产制造，特别是在副产品氮也可利用情况下，吸附法制氧法制得的是气体产品，只适合在现场生产。

冷冻法制氧厂是将空气压缩并在预处理系统中除去水分、CO₂ 和其他杂质。然后将干空气冷却并用透平骤冷机 (turbo expander) 和（或）冷冻系统低温液化。最后分馏液化空气，将其分离成氧、氮和其他副产品。

反之，吸附法制氧系统是用分子筛吸附剂在常温下分离空气，吸附剂在常压下吸附氮和其他杂质，而氧作为产品则直接穿过吸附床。待吸附床被氮饱和后，再降压释出被吸附的氮，使氮再生。吸附过程周而复始地循环进行，并可使用多个吸附床以保持氧的连续性生产。

氯和烧碱的生产

氯与氢氧化钠通常根据下列反应式，以盐水电解法生产：



商业上使用三种型式的电解槽：即隔膜电解槽、汞电解槽和薄膜电解槽。它们的操作原理示于图 11-2。

在汞电解槽法（图 11-3）中，金属钠与汞形成钠汞物（可视作为钠汞合金）后从槽中排走，之后，钠与水再起反应。因此汞电解槽系统生产出基本纯净的 NaOH。而隔膜电解槽的烧碱必须借蒸发浓缩成晶体后再从残余盐水 (NaOH) 中分离出来。薄膜电解槽是最近发展起来的，由于操作灵活性大以及运行成本低，目前已在最新型的电解厂中应用。它利用氯化物离子无法透过的阳离子交换薄膜而生产出高纯度的 NaOH 产品。

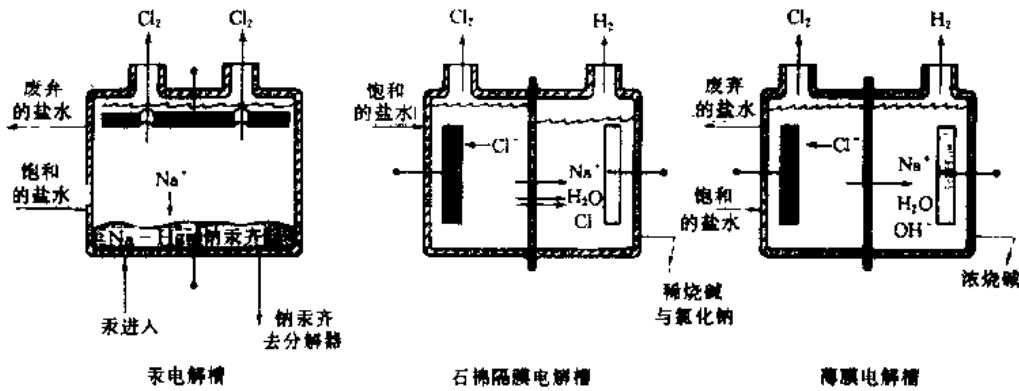


图 11-2 生产氯与烧碱的基本电解槽 (Olin 公司)

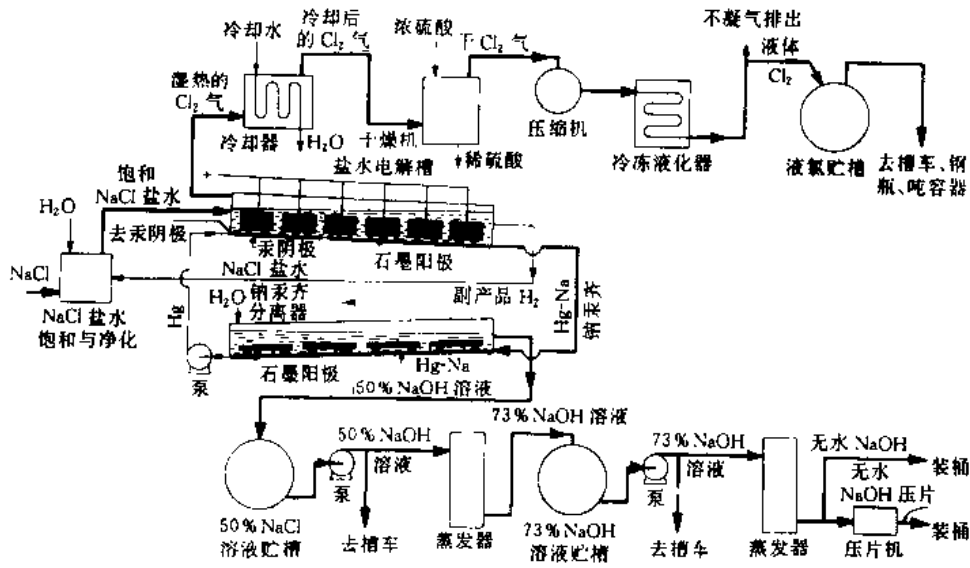


图 11-3 汞电解槽氯碱制造工艺 (CIL)

总的说,氯气是在阳极上形成并从电解槽逸出。氯气经冷却并用硫酸脱除水分,并常在压缩与冷冻下液化。

氯与烧碱一般由化工厂供应。氯以液态方法运输,一般用槽车。烧碱多数常以 50% 溶液运送。在用量很大时,有些大型浆厂也在现场制造。此时氯可以气体形式,烧碱可以低浓液形式输送,这就免除了制氯和烧碱厂所需要的若干单元工序。

近几年来,由于考虑环境问题,产生了不用氯漂的重大变化。目前已在工业中形成了严重的氯碱不平衡状态。因而正在研究开发另外的(即非电解的)烧碱生产法(例如苛化碳酸钠法)。

氯与烧碱的装卸

一个典型的卸氯系统示于图 11 4。只要全系统是无水的液态和气态氯,均可在碳钢材质的容器和管道中装卸。槽车用干空气加压。液氯在该压力下流至带蒸汽外套的蒸发器,转化成气态,然后氯气或与浆料混合,或用以制取次氯酸盐。在每个使用点前面都利用水腿管,以防水被“回抽”到干氯系统中。

烧碱一般以 50% 溶液贮存,并在一个连续式稀释系统中稀释到 5% 浓度。测定溶液的浓

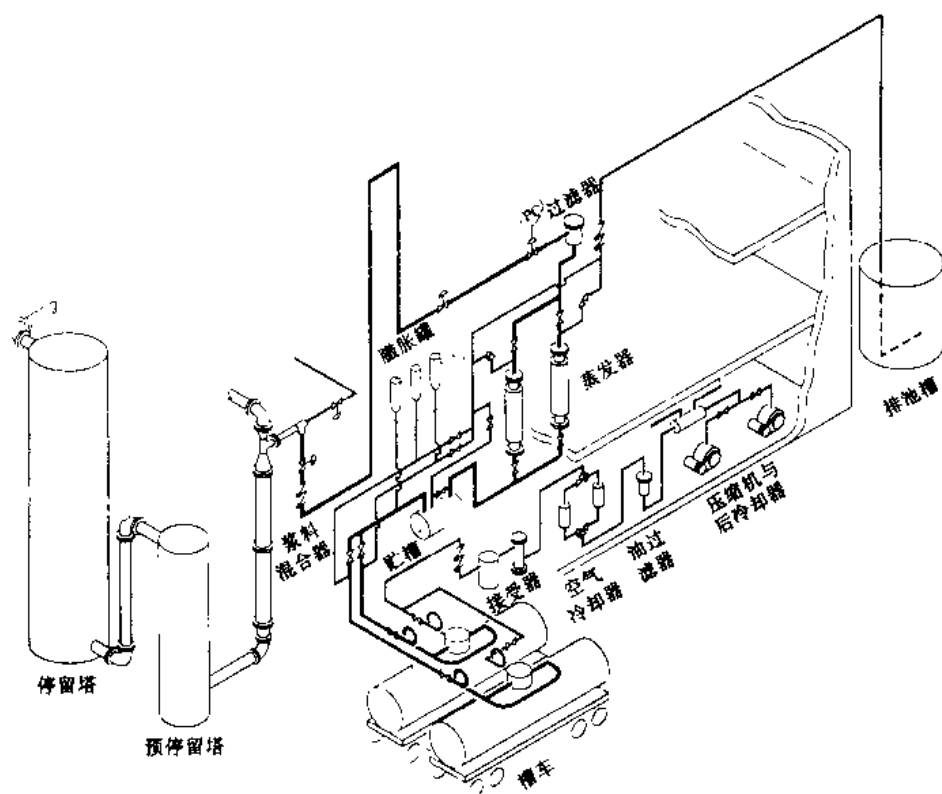
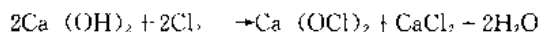
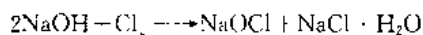


图 11-4 典型的卸氯系统

度或电导度，可用作自动稀释系统的依据。

次氯酸盐的制备

次氯酸盐溶液是在纸厂现场利用氯与 5% 烧碱溶液或石灰乳起反应而制成：

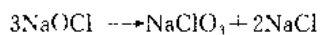


这类反应是可逆的。需要有多余的碱以推动反应向右进行，这样也防止以后次氯酸盐分解为氯化物。但即使有烧碱存在，温度较高时次氯酸盐仍有可能发生分解作用。由于上述反应是放热反应，可能需要冷却以维持溶液低于 50℃ 的临界温度（特别是在石灰乳消化后）。

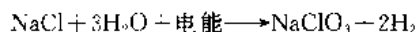
多数次氯酸盐制备系统利用氧化-还原电位测定法（基于溶液中次氯酸盐与残存氯的相对数量）连续、自动地运行。

氯酸钠的生产

氯酸钠（ NaClO_3 ）是现场制造二氧化氯的主要原料，从而是一个重要的漂白化学品。它也是从盐水电解制得的。在其制造过程中，不是分别在阴极和阳极上制出产品（如在生产烧碱和氯的电解槽中那样），而是共同反应生成次氯酸钠（ NaOCl ）。不是维持多余的烧碱以稳定次氯酸盐（如在纸厂制备次氯酸那样），而是在缺少烧碱情况下次氯酸盐转化成氯酸钠：



将溶液排出，并加以蒸发； NaCl 结晶出来，在溶液中只留下 NaClO_3 。然后进一步蒸发溶液，结晶出 NaClO_3 。产品以结晶形式运送，并在纸厂现场溶解贮存起来。整个氯酸盐生产工艺的基本反应可表述为：



二氧化氯的制备

二氧化氯在常温常压下是气体，并在 11℃ 液化。纯的二氧化氯是不稳定的，且有潜在爆炸性。在与空气混合时，易因与热、光、汞和各种有机物接触而爆炸；在较低浓度（低于 20%）时则只产生所谓“噗的一声”的中度爆炸。

二氧化氯比氯更易溶于水（在 4℃ 时每升 10~11mg）。因它不能以很纯的状态或作为浓缩液运输，所以常在纸厂现场制造。在高酸性溶液中氯酸钠被还原成 ClO_2 气体，然后在冷水中吸收该气体，生产出浓度 7g/L 左右的 ClO_2 溶液。

已开发了多种现场制备 ClO_2 的方法。原先，方法的差别主要在用不同还原剂。最近的发展已更关心于副产品数量的减少。

在北美用以制备二氧化氯的四种基本方法示于表 11-2。这四种方法是多年来使用的许多改性和改良方法的基础。最早的方法 Solvay 和 Mathieson 系统（它们始于 20 世纪 50 年代），先天地难于控制，而且氯酸钠的转化率相当低。这两种方法，以及 R_2 法（它始于 20 世纪 60 年代），操作的硫酸浓度相当高，并生产出大量的硫酸/硫酸钠副产物。较新型而广泛应用的 R_1/SVP 法，使用低浓度硫酸，且只生产出结晶硫酸钠副产物。所有应用氯化钠作为还原剂的几个方法（例如 R_2 和 R_3/SVP 法），除二氧化氯外还产生氯气作为副产品。

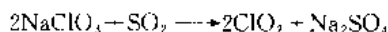
表 11-2 四种制备 ClO_2 的基本工艺

工 艺 方 法	还 原 剂	所生成 ClO_2 气体的稀释剂
Solvay	甲醇	空气
Mathieson	SO_2	空气
R_2	NaCl	空气
R_1/SVP	NaCl	水汽

20 世纪 70 年代，在 R_2 和 R_3 的改性方法中，以盐酸（HCl）取代了所有的 NaCl 和部份硫酸（ H_2SO_4 ），这样就减少了副产品 Na_2SO_4 的数量。20 世纪 80 年代的两个 R_3/SVP 改性法是 R_7 和 R_8 法。在 R_7 法中，副产品氯跟二氧化硫与水起反应，从而形成盐酸与硫酸的混合液，它可用以取代一部分所需的氯化钠和硫酸。净效果是副产品硫和氯的数量显著减少。在 R_8 法中，以甲醇取代 NaCl 作为还原剂，这就消除了副产品氯；同时高酸浓度又引致倍半硫酸钠 $[\text{Na}_3\text{H}(\text{SO}_4)_2]$ 的结晶化，从而减少了副产品硫和钠的数量。

发生器系统的例子

图 11-5 示出了 Mathieson 法流程。反应物（氯酸钠、二氧化硫和硫酸）被送入一级发生器，同时喷入空气，空气起到 ClO_2 气体的混合剂和稀释剂作用。发生器的酸液当量浓度为 9~10N，氯酸盐浓度为 20~30g/L。温度用水冷套控制在 35~40℃ 范围。一级发生器的内容物溢流入二级发生器，产生的二氧化氯气体（稀释在空气中）便在吸收塔中吸收。基本的反应式为：



硫酸只是起催化剂的作用，在反应过程中没有消耗。

图 11-6 示出 R_3 法的布置图。该法的基本反应式为：

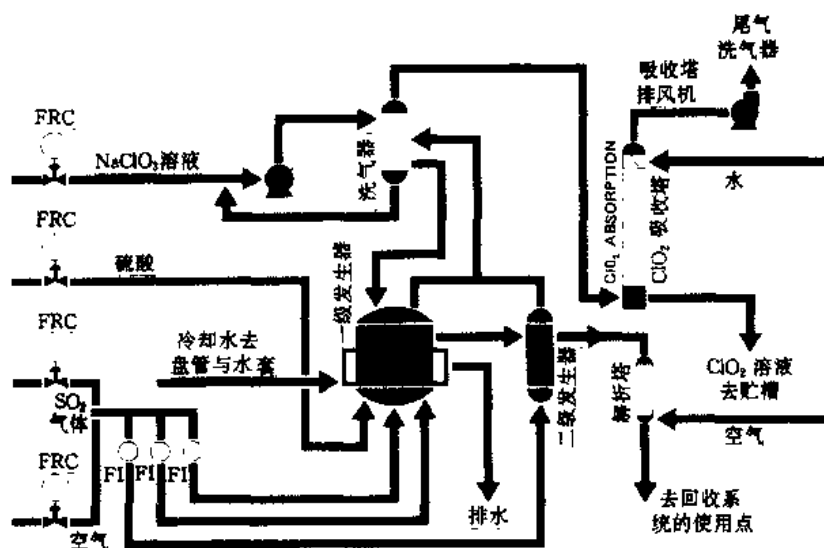
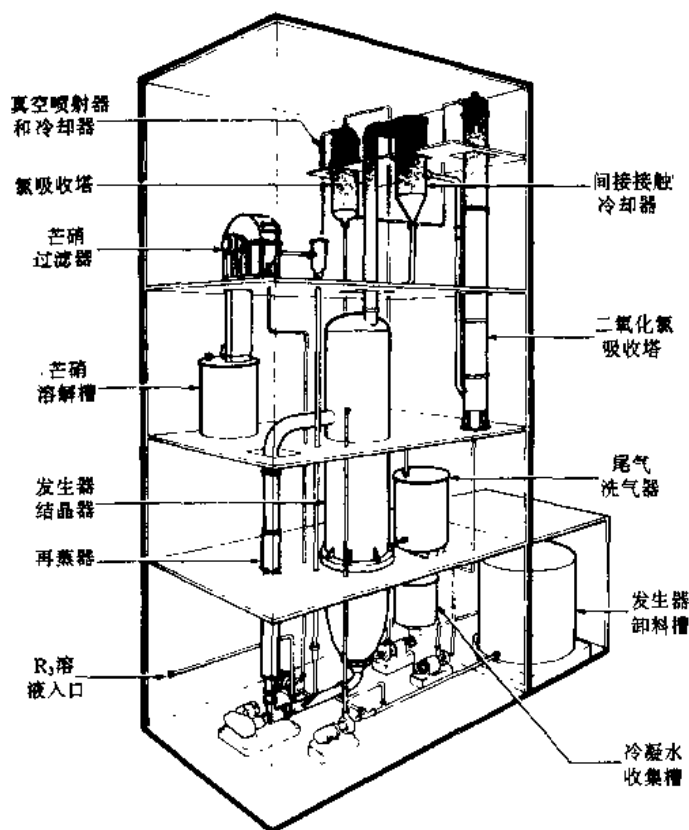
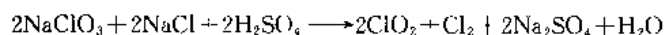


图 11-5 发生二氧化氯的改良 Mathieson 法

图 11-6 R₃ 法 ClO₂ 发生装置的传统布置图 (ERCO)

氯酸钠、氯化钠和硫酸等反应混合物借流经热交换器不断循环而控制在较高的温度。发生器还保持在真空下，因而就产生了作为二氧化氯和氯气载体的水蒸气。由于发生器酸液的蒸发浓缩，硫酸钠（芒硝）副产品被从溶液中结晶出来；晶粒悬浮液被连续泵送去过滤器，将芒硝过滤出来并加以清洗，酸液则返回发生器。

过氧化氢

商业上有好几种方法用以生产过氧化氢 (H_2O_2)，还有其他若干方法正由北美、欧洲和日本的化学公司进行研究开发。许多这类方法都拥有专利权，并受到严密的保护。最普遍应用的方法是以醌的自动氧化为基础。在该法中，蒽醌（它溶于多组分的有机溶剂中）被催化加氢而生成氢醌，之后便和空气混合而生成 H_2O_2 （它用水萃取并浓缩），同时将醌再生。

有不少厂商采取电解法生产 H_2O_2 。例如，新的利用隔膜电解槽法的 H-D Tech 法，此法非常适合于在现场制造。将稀碱液送入阳极侧，产生出 O_2 。生成的 O_2 从阳极侧顶部排出，并随同补充的元素氧一起进到由碳片复合场 (Carbon chip composite) 制成的高表面积阴极上，生成 H_2O_2 和烧碱。生产出的 H_2O_2 浓度为 30~80g/L， H_2O_2 与烧碱之比可根据工艺需要进行调节。

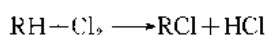
Dupont 公司已展示了一个氢与氧直接反应成过氧化氢的系统，该系统计划于 20 世纪 90 年代投入商业运行。在其低温、高压的反应过程中，氧与氢均以气泡形式通入一个特殊水溶液介质中，水溶液中装有专利化的钌催化剂（催化剂固定在活性炭上）；据称单程转化率可达 13%。

11.3 氯化与碱抽提

氯化与碱抽提通常应用在纸浆漂白流程的前两段，作为有效脱除纸浆中木素的一个手段。氯选择性地与非碳水化合物组分起反应，使其溶于水或溶于碱性介质。大多数氯化反应的产物实际上是在碱抽提段溶解而除去的。造纸工业当前放弃以元素氯作为漂白药品，是由于考虑到有毒的氯化有机物对环境的负面影响。但多数纸厂在未来若干年内将继续使用改良的氯化与碱抽提工艺。

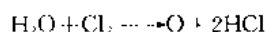
氯化

氯主要是利用置换与氧化作用跟木素起反应。在置换作用中，氯取代有机物分子上的氢，同时生成盐酸分子：



式中 R 代表有机物分子

氧化作用可设想为所生成的元素氧跟纸浆起反应：



在氯化时生成的 HCl 的数量可衡量置换和氧化反应的程度。通常有 50% 以上的所用氯量消耗置换反应中，是理想的反应模式。因氧化反应对纤维素有较大的降解效应。

传统上高浓度本色浆进入漂白工段进行氯化时，都用外加清水稀释到很低的浓度 (2.5%~3.5%)，以便于混合以及将气体氯溶入到浆料中，并消除大量反应热。因为所有其他的漂白段都是在中浓 (10%~13%) 或更高浓度下进行的，氯化段作为一个用水大户就显得比较突出。现在常将氯化废水再循环，用于同一段的浆料稀释，但这种做法使氯化温度急剧升高，一般只用清水的纸厂，氯化温度为 20~30℃，而那些利用大量循环水的纸厂，则操作温度可达 60℃。许多纸厂已通过使用最新的混合技术改变为中浓氯化段。

影响氯化的变数列示于表 11-3。温度和时间是直接密切相关的，如图 11-7 所示。可惜大多数现有氯化塔的停留时间都是固定的，在正常操作情况下停留时间为 45~90min。化学品用量必须足够以提供充分的推动力和保证所要求的氯化程度；用氯量通常大致为根据 Kappa 测试值所指示的总用氯量的 75%~80%。一般地说，软木硫酸盐绝干浆的用氯量范围为 6%~8%，亚硫酸盐和硬木硫酸盐绝干浆为 3%~4%。在所选择点（即在混合与初步反应后）的下

游测定浆料色值或氧化、还原电位，可作为化学品用量快速反馈控制的基础。可惜至今还没有一套自动控制方法能够跟随未漂浆木素含量的变化。人工检测人口浆料的 Kappa 值仍然是可取的，而通过在漂白工段前对浆料的充分搅和可大为减少漂剂需要（参见前面 9.8 节）。

表 11-3

影响氯化的变数

纸浆性能	操作条件	过程条件
<ul style="list-style-type: none"> • 漂剂需要（根据高锰酸钾价） • 制浆方法 • CED 粘度 	<ul style="list-style-type: none"> • 时间与温度 • 化学品用量（如用氯量） • ClO_2 使用比例 • 化学品使用顺序 • 最初的 pH 值 • 浓度 	<ul style="list-style-type: none"> • 混合程度
		控制参数
		<ul style="list-style-type: none"> • 浆料颜色 • ORP 水平 • 残余化学品浓度

在传统的氯化段，一般习惯于在反应塔出浆中保持少量的残氯浓度，以确保反应不至于过早停止。但在高温氯化时，氯须在短时间内全部消耗掉；否则会造成纤维素的严重降解。

在氯-水体系中，pH 作用是非常重要的，因为它决定氯以何种形式（分子氯、次氯酸、和次氯酸根）存在。在酸性介质中存在下列平衡：



而当存在盐基时，则可有不同的平衡

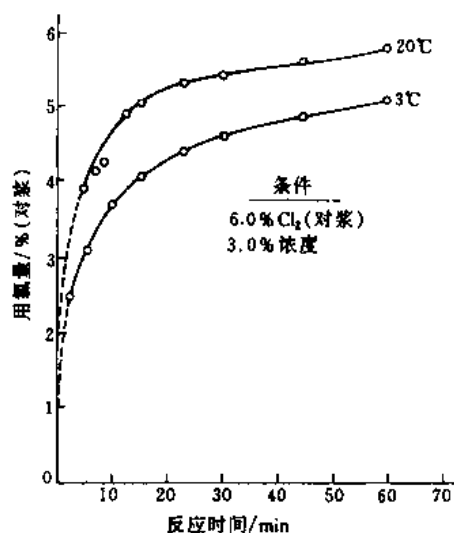
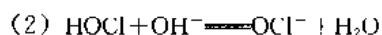


图 11-7 温度对氯化速率的影响
(根据 Duncan 和 Rapson)

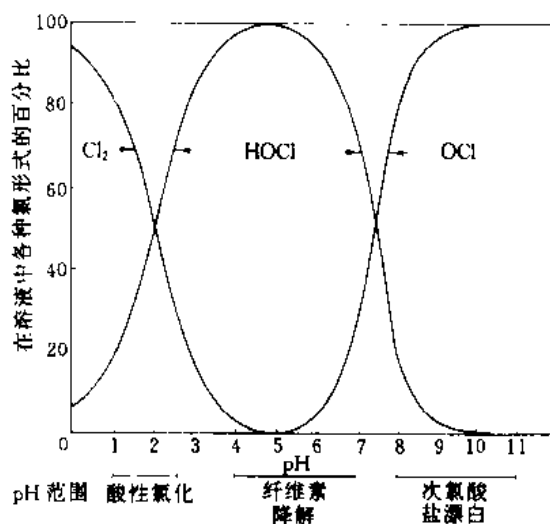
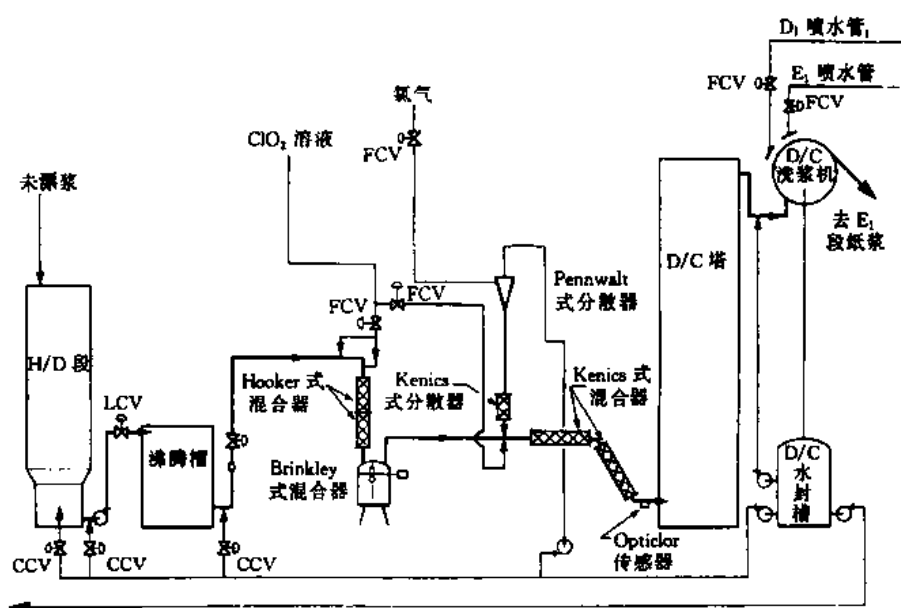


图 11-8 在不同 pH 时水中的氯平衡

在溶液中分子氯、次氯酸 (HOCl)、和次氯酸根 (OCl^-) 的相对比例取决于 pH，如图 11-8 所示。每种氯的形式就其对木素与纤维素的作用而言是不同的，通常认为次氯酸对纤维素的降解作用很大，因此一般应避免在 pH2~9 的范围内进行漂白。

在用清水稀释的传统氯化中，形成足够的盐酸，使 pH 保持在 2.0 以下，此时占优势的形

图 11-9 按序添加 ClO_2 的新型通用氯化系统

式是分子氯。氯化废水的循环使氯化段的 pH 进一步降低，从而几乎消除了次氯酸的有害影响。大量氯化物离子也使得平衡（上面第一种反应的平衡）向左转使分子氯浓度进一步增高。

过去 20 年来常在漂白工段的氯化段加入少量 ClO_2 ，以取代约 5%~10%（按化学当量计）的氯。 ClO_2 的使用使纤维素的降解作用大大减少，特别在不进行氯化废水循环，pH 接近 2.0 时。另外一些优点据称是有较高的最终白度、较好的白度稳定性、以及较浅的废水色泽。对在氯化段如何更有效的使用少量的 ClO_2 ，已进行了大量研究，尽管研究结果并不都是一致的。大多数纸厂都在加氯以前加入二氧化氯以保证二氧化氯快速反应，不将残余化学品带入洗浆机系统以避免对洗浆机的腐蚀。

混合作用的重要性

新型通用的氯化系统简图示于图 11-9。一个常用于氯化的“泵送”升流塔例子示于图 11-10。氯气与稀释水及浆料的彻底混合，对确保氯化段化学反应的均一性是非常重要的。化学品加入的逐渐递增也有助于达到此目的。由于分子氯在水中的溶解度较低（特别在高温时），混合器必须迅速而均一地将氯气、液体与纸浆混合好。输入较多的机械能是必要的。估计在开始氯化的 40s 内即有 80% 以上的氯与纸浆反应而消耗掉。

因为纸浆可消耗掉多于溶解木素所需的氯量，混合得不好将造成一部分纸浆过氯化，而另一部分纸浆则氯化不足。在新型氯化系统中应用了许多不同的混合方法。安装一系列小型搅拌槽是有好处的，这样可将所需的漂白剂（ ClO_2 和 Cl_2 ）按序加入，

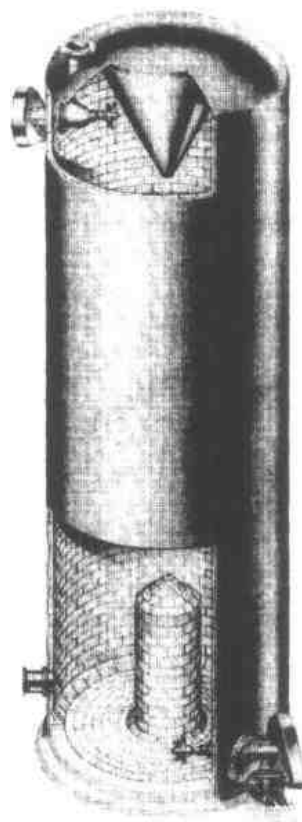


图 11-10 低浓泵送升流式氯化塔

同时也可在槽中设置供控制用的传感器。位于搅拌槽之间的一系列在线静态混合器也可提供同样的好处。氯化混合器的例子见图 11-11 至图 11-13。

二噁英问题

在 1986 年,漂白化学浆的生产过程,发现产生有影响环境的多氯二噁英 (polychlorinated dioxins) 与氧茚 (dibenzofurans)。因为这些化合物 [以下简称为二噁英 (dioxins) 和呋喃 (furans)] 被认为是很强的毒性和致癌物,它们在漂白废水中被检测发现,在欧洲和北美引发了一场确定这些化合物来源与补救措施的研究活动旋风。结论是,氯化与碱抽提是这些化合物的主要来源。

造纸工业迅速采取行动以消除或减少二噁英与呋喃⁽²⁾。例如,大多数纸厂已不再使用油性消泡剂或含防腐剂的木片,因为据称这类化学品含有二噁英与呋喃的前驱物 (precursor),遗憾的是木材组分本身也被认为含有前驱物,为了进一步将这些排放物降低到“不可察觉”的水平,改变基本工艺过程是必需的。最有效的措施似为下列的任一个:

(1) 在氯化段用更高比例的二氧化氯 (超过 50%) 替代氯。

(2) 在氯化段使用低“氯比”(即用氯量与 Kappa 值之比)和用氯量逐渐增加的办法,以避免氯的集中使用而导致产生高氯代的化合物,由于加氯而导致的脱木素不彻底,可在后面漂白段得到补偿。

氯化有机物

在纸浆氯化期间除了二噁英与呋喃外还形成许多氯化有机物,所有这些化合物都具有不同程度的毒性。已制订了新的标准来控制这些化合物。这些化合物也称为“可吸收的有机卤化物”或 AOX⁽³⁾。贯彻新排放标准的显而易见的措施是减少用于纸浆漂白过程中氯量。新型系统已不再使用分子氯,而更多地依靠于氧、过氧化氢和二氧化氯。

碱抽提

在氯化段后碱抽提段的任务是借溶解作用除去氯化木素。碱抽提段在中浓 (12%~15%) 下进行,温度为 60~80℃,停留时间达 2h。终点 pH 高于 10.8,否则溶解作用将是不完全的。

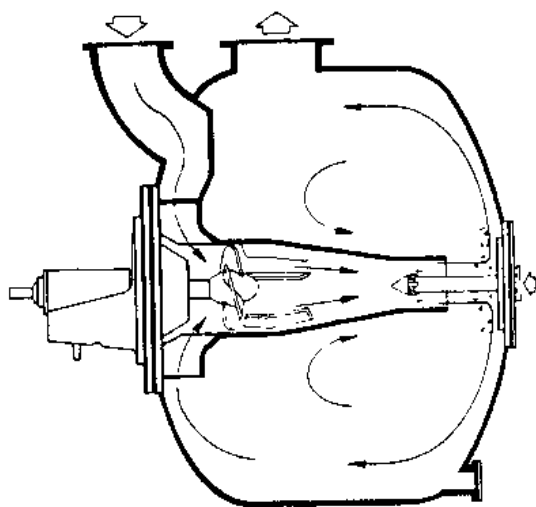


图 11-11 氯化混合器
(Impco/Ingersoll Rand 公司)

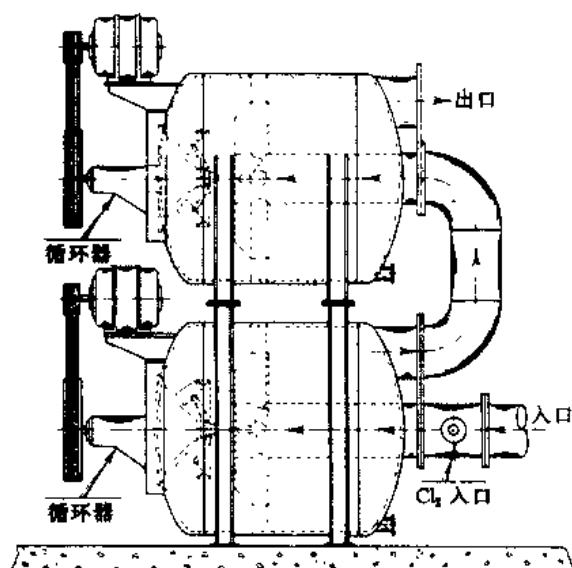


图 11-12 双氯化混合器 (Candy Fill 公司)



图 11-13 在线静态混合器
(Impco/Ingersoll Rand 公司)

烧碱需用量与前一段氯的用量直接有关, 通常等于用氯量的 60% 左右。

氯化段后的高效洗涤很重要; 因为存留在浆中的酸性废水将中和掉烧碱, 从而增加化学品成本。将烧碱液均匀地施加到纸浆上也是很重要的。一个运行良好的洗浆装置(使用真空洗浆机时), 化学品(碱)从洗浆机网笼上方的喷水管加入(图 11-14)。再在用于控制温度的单辊或双辊蒸汽混合器中进一步混合(图 11-15 与图 11-16)。

加氧碱抽提

10 年来漂白的一个重要进展是加氧碱抽提, 即随着纸浆进入碱抽提段, 在液压下通入少量氧(每吨浆约 4.5kg)与纸浆相混合。氧选择性地与浆中的残余木素起反应, 从而减少在后段中二氧化氯的耗用量。因为二氧化氯是相当昂贵的漂白剂, 在该段使用氧气从经济效益来说是十分有利的。加氧碱抽提也使废水色泽有所下降, 并似乎使纤维束在以后的漂白处理中有更高的反应活性⁽⁴⁾。

最通用的加氧碱抽提方法大概是, 利用中浓混合器使浆料流态化同时将氧气喷射到混合区, 以促进氧对纤维的粘附及迅速完成反应。使用降流式碱抽提塔(图 11-17)的纸厂通常要安装一条升流管以使纸浆在压力下停留 5~10min 的时间。事实上, 因为反应一般在 1 或 2min 内就完成, 在混合器与反应塔之间安装一个大口径管大概就已够了。升流式碱抽提塔一般就不需此反应管。

借加入少量过氧化氢或次氯酸盐, 与氧相混合, 也可达到强化碱抽提的目的。效果大致是可叠加的, 而且据称这种混合作用可对生产过程提供更好的控制。

第二碱抽提段

多段漂白流程中的后碱抽提段, 用以除去带色的和降解的生成物, 并使纤维“张开”以便在以后氧化段中作更有效处理。

11.4 氧漂

氧漂(或称氧脱木素, 或预漂)是在 20 世纪 60 年代末 70 年代初在瑞典和南非开始商业化运行的。阻止早期将氧作为漂白剂开发利用的障碍, 是它在选择性方面的缺陷。突破点是发现了在生产过程中加入硫酸镁作为保护剂可成功地控制纤维素降解, 直至达到一定的脱木

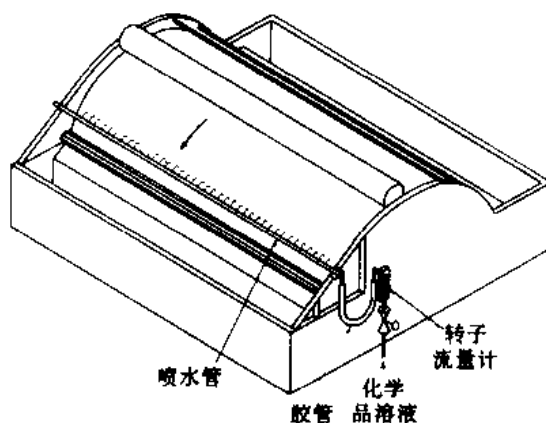


图 11-14 在漂白段洗浆机后侧的
化学品喷淋管装置

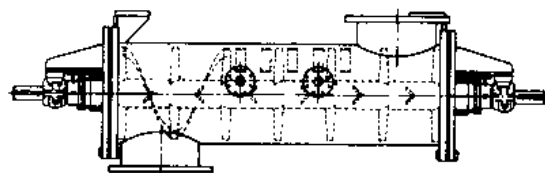


图 11-15 单辊蒸汽混合器
(Impco/Ingersoll Rand 公司)

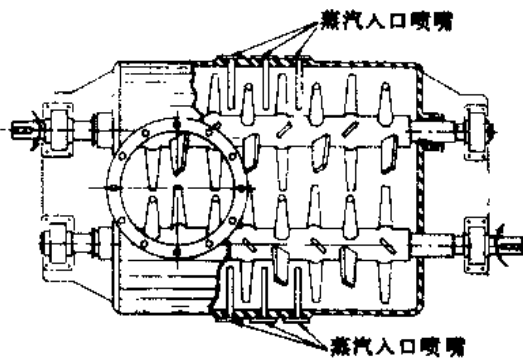


图 11-16 双辊蒸汽混合器

素程度。

由于从氧碱预漂段（即位于传统 CEDED 流程以前的）排去的废水完全适应于硫酸盐制浆过程的碱回收系统，所以在生产过程中最初的很大兴趣来自于它使浆厂污染有实质性的减少。氯化以前的氧脱木素，20 世纪 70 年代就很快地在瑞典被采用，但由于长期怀疑它对纸浆强度的影响，使该工艺在北美被接受得较晚。目前，北美纸厂已对它表现出很大兴趣，主要是由于环境方面考虑，但也是由于目前中浓设备的使用提供了更多的工艺选择。

通常在氧脱木素段有可能脱除直至 50% 的木素含量；再进一步脱除木素，将造成纤维素的过度降解。借洗去氧脱木素浆中的可溶性固形物，并将其再循环至浆厂碱回收系统，从而使外排污染物获得相应的下降。结果，去碱回收炉的总固形物负荷就明显增加，软木浆增加约 4%，硬木浆约 3%。但因这些固形物已部分氧化，产生的蒸汽量将只增加 1%~2%。

大多数有氧脱木素系统的硫酸盐浆厂，都用氧化白液作为碱的来源，以保持化学品循环中的钠硫平衡。在多数情况下，白液氧化都采用空气系统，因为它们的运行费用很低，即使其最初投资费用要高于氧气系统。使用氧化白液要增加苛化工段和石灰窑的负荷约 3%~5%。

工业上使用的氧脱木素系统有两种，通常以高浓和中浓系统表示其特征⁽⁵⁾。低浓系统曾经尝试过，但证明是不成功的。

图 11-18 表示出一个在纸浆浓度 25%~28% 范围操作的典型高浓系统。通常用一台压榨机（press）将进浆浓度提高到约 30%。新鲜的烧碱或氧化白

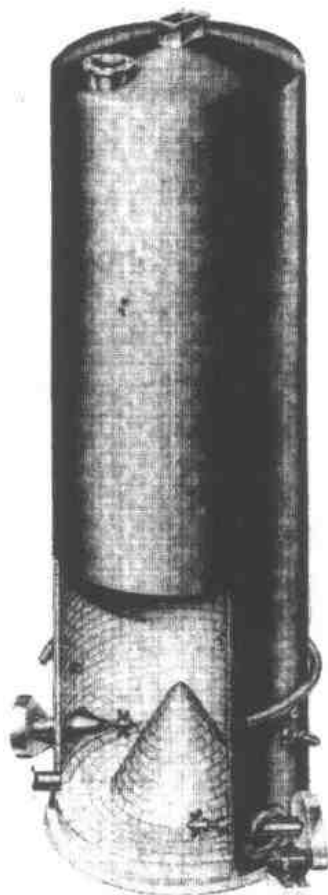


图 11-17 降流式高浓漂白塔

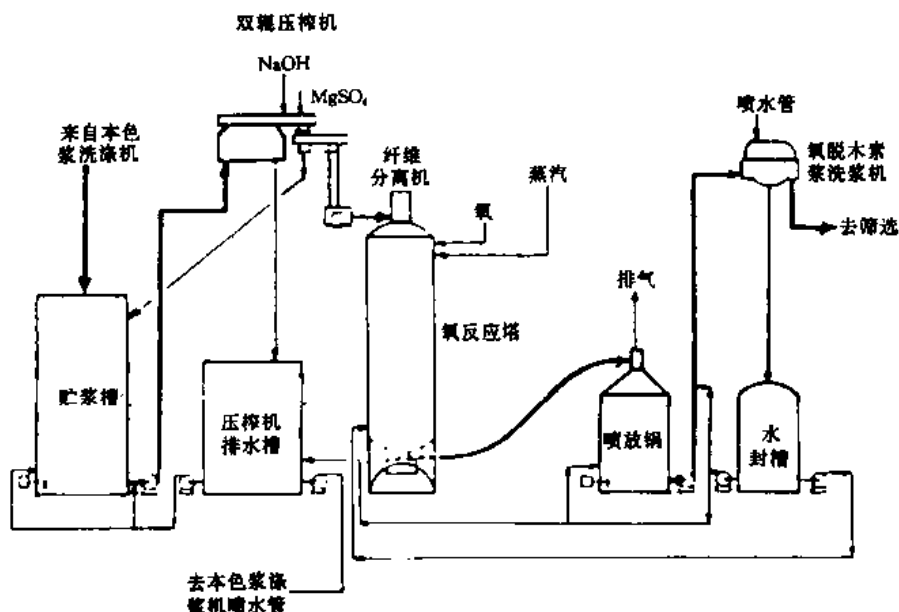


图 11-18 典型的高浓氧脱木素系统（E. P. Eddy 林产品公司）

液以及镁保护剂在压榨机出口加入到浆料中。然后用高浓浆泵使纸浆经过一个进浆管（在管内形成气封料塞）输送到纤维分散机。分离后的纸浆下落到带压的氧反应塔，形成松散垫层，与此同时气态氧不断地溶入液相并与纸浆起反应。为了使氧自由地从气相向液相转移，很重要的是比表面积要大。在有些高浓氧反应塔中，使用一系列托盘形隔板，以避免随着纸浆移向下部而被压得过紧。蒸汽喷入氧反应塔顶部，以保持温度在 $90\sim 130^{\circ}\text{C}$ 范围。氧气从顶部或底部通入，维持分压在 $0.6\sim 0.9\text{MPa}$ 范围内。从塔顶压力区进行放气以排除易燃气和其他不凝气，并控制全塔压力。在塔底部，反应后的纸浆用氧漂段后面洗浆机的滤液稀释，并以约 6% 的浓度泵送去喷放锅。

从一开始，安全就是高浓系统的重要问题。但通过连续监控系统，结合精心设计的安全系统，这类反应塔已证明是安全可靠的。

中浓系统

一个典型的中浓系统示于图 11-19。从本色浆洗浆机来的约 $10\%\sim 14\%$ 浓度的纸浆，加入烧碱或氧化白液。然后在低压蒸汽混合器中预热，并泵经一台以上的中浓氧混合器到升流式压力反应塔。蒸汽和氧加到中浓混合器的上游或直接加进混合器。反应塔底部可以是半球形或锥形，顶部配有卸料器。常将氧漂段后洗浆机的滤液加入到反应塔顶，以便有利于纸浆的排出。浆料通过一台分离器减压，并排放出迅速蒸发的水汽以及少量挥发气、氧和其他不凝气。

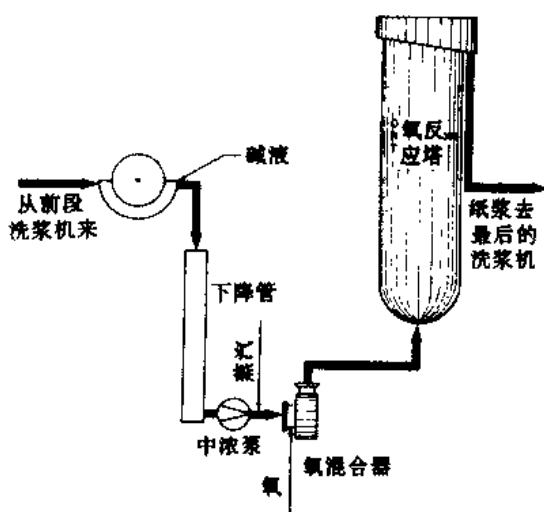


图 11-19 中浓氧脱木素系统 (Rauma 公司)

在有些中浓系统中，反应塔顶部是常压。这种系统对于亚硫酸盐浆脱木素来说已足够了，在用于硫酸盐浆时可达 $30\%\sim 35\%$ 的脱木素程度。

虽然从这两种氧漂系统都可获得良好的效果，但一般倾向于用中浓系统，因为它们的投资低，而且运行比较安全。

11.5 次氯酸盐漂白

次氯酸盐是一个真正的漂白剂。它优先破坏木素的某些发色团，因而它曾经用于一些高得率浆的漂白，在此过程中没有很大程度的得率损失。在其很快的最初反应后，化学品即有力地侵袭木素。可惜的是，与木素反应同时，也使纤维素受到某种程度的降解。

亚硫酸盐浆很容易用次氯酸盐漂白，因为木素残余物被部分磺化而易于溶解。就硫酸盐浆来说，残留木素或木素衍生物活性较少、更为凝缩、且更少可及性。由于硫酸盐浆用次氯酸盐漂白时，不使纤维素严重降级就无法获得高白度，其用途就局限于生产白度 75 以下的半漂浆，或全漂浆流程中的中间段（例如 CEHDED 或 CEHDP）。但由于二氧化氯的成本较高，目前已在全漂浆流程中少量地使用次氯酸钠。这个趋势随着放弃氯气漂白而有所加强。

次氯酸盐漂白反应的速率与程度取决于纸浆特性、化学品用量、温度、停留时间、pH 与浓度。最初，木素“保护”纤维素防止降解。随着漂白的进行，纤维的内表面被打开，纤维素就变得很活泼。在生产溶解浆的工厂常使用相当剧烈的次氯酸盐漂白段以达到所需的浆粘

度的下降。

跟其他漂白段一样,时间与温度也是相关变数。大多数次氯酸盐漂白在 $35\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行,停留时间为 $1\sim 2\text{ h}$ 。次氯酸盐用量一般与漂白化学品需要相对应。在漂白阶段终点带有少量残余的次氯酸盐,以保证在整个停留期间都有足够的反应推动力。

通常在次氯酸盐溶液中加入少量烧碱以保证终点 pH 在 9.0 以上。必须将盐酸和其他酸性反应物中和掉以防止 pH 降到次氯酸极活跃的范围之内(参见 11.3 节的氯水平衡)。但如果开始次氯酸盐漂白时加烧碱太多,可使最初的反应速率大大放慢。

高温次氯酸盐段

由于当前强调漂白废水循环、加氧碱抽提、和短流程漂白,对高温(热)次氯酸盐漂白已表现出若干兴趣。业已证明⁽⁶⁾,在良好混合的情况下,可在 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、不超过 10min 的时间内实行满意的次氯酸盐漂白。因为此时次氯酸盐会被全部消耗掉(太多次氯酸盐消耗导致过多纤维素降解),控制好化学品用量就很重要。

次氯酸钙与次氯酸钠

次氯酸钙比次氯酸钠更早的、更广泛地用于纸浆漂白,它在若干纸厂仍成功地使用着⁽⁷⁾。在 20 世纪 60 年代,工业上大量转向使用次氯酸钠,这是因为纸厂考虑到两者成本差距不大,故不再满足于易出故障的次氯酸钙配制和输送系统。但由于当前氢氧化钠的价格逐步上涨,从经济观点看,纸厂使用次氯酸钙也许还是合适的。

11.6 二氧化氯漂白

二氧化氯(ClO_2)是在 1946 年首次商业化应用于纸浆漂白的,至 20 世纪 50 年代后期,实际上已成为所有生产高白度硫酸盐浆漂白流程的组成部分。造纸工业迅速接受二氧化氯作为漂白剂,是因为它在破坏木素而不显著降解纤维素或半纤维方面有很高的选择性;从而在获得稳定白度的同时保护了纸浆的强度。

最初是在多段漂白的后几段中使用二氧化氯漂白。CEHDED 流程在 20 世纪 60 年代前期全漂硫酸盐浆生产中逐渐占据优势。随着 20 世纪 60 年代后期 ClO_2 的价格与次氯酸钠相比更具有竞争性,CEDED 流程成为了工业上的标准流程。在 20 世纪 70 年代,将注意力转向在氯化段以 ClO_2 等化学当量取代部分 Cl_2 ,以改善纸浆的强度与色度稳定性以及减轻废水的颜色(参见前面 11.3 节)。

典型的二氧化氯漂白塔示于图 11-20。 $11\%\sim 14\%$ 浓度的浆料在蒸汽混合物中加热至所需的 $70\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度,并借重力流入高浓浆泵。在老式系统中, ClO_2 溶液通过周边扩散装置加入到带压管中,然后浆料经过单辊或双辊混合器(例见图 11-21)到达一个升流管。新式的或经过改造的系统则多半使用新型中浓混合器。多数化学品都在液压下被消耗掉,以便减少 ClO_2 的闪急蒸发和

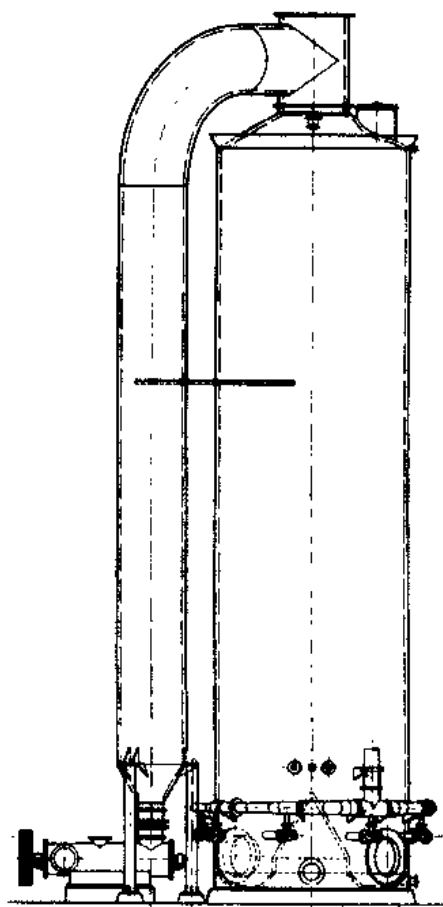


图 11-20 带升流预反应管的
降流式二氧化氯塔

“跑气”。虽然还有某些塔完全为升流型塔,但大多数都是一个升流管接着一个大容积降流塔,以便提供可控的停留时间(通常为2~4h)。在塔底部的残余 ClO_2 通常用 SO_2 或 NaOH 中和,以便在以后洗涤段期间消除有毒气体和减少腐蚀。 SO_2 起还原作用,而烧碱则使 ClO_2 根据下列反应式离解成氯酸盐和亚氯酸盐:



ClO_2 的氧化能力,通常认为按摩尔比计为 Cl_2 的2.5倍(按 kg/kg 计为2.63倍)。假设这两种情况都转化成氯化物,则 ClO_2 的价态变化为5而分子氯的价态变化为2。实际的反应机理非常复杂,且已证明部分 ClO_2 转化成氯酸盐而失去了反应活性。在第一个二氧化氯段,建议最佳的化学品用量是使终点 pH 为3.5~4.0。但已发现在第二个 ClO_2 段, pH 略高一些(5.5~6.0)可获得最高的白度。

加入到纸浆中的 ClO_2 量取决于最终所需的白度。但可达到的白度水平也取决于前几段处理的彻底性,纸浆白度的升高一般与化学品用量的增加相对应,直到某个白度水平;而只有加入大量的、不经济的过量化学品,才有可能超过该水平。

11.7 过氧化物漂白

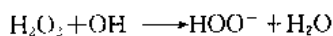
过氧化物(通常为过氧化氢)可应用于机械浆和化学浆的漂白。当使用 60°C 以下的中等温度时,过氧化物是一个有效的保存木素性的漂白剂,提高机械浆和化机浆的白度而又不显著地降低得率(参见11.11节)。在略高温(即 $70\sim 80^\circ\text{C}$)时,过氧化物漂白用作全漂化学浆流程的组成部分,以使白度略有增加并改善色度稳定性。

在将过氧化物用于CEDED或(DC)(EO)DED的第一碱抽提段(E)或氧碱抽提段(OE)时,它是一个很有用的漂白化学品。研究表明,应用每个化学当量的过氧化物,在以后段中要节省很多个化学当量的 ClO_2 。过氧化物漂白也用作终端漂白,它可在常规漂白塔或高浓贮浆槽中进行。随着化学浆厂放弃其对含氯化学品的依赖,过氧化物将变成一个更具优势的漂白剂。

从环境观点看,希望漂白工段不再使用任何含氯化学品。在这种情况下,所有漂白工段的废水可再循环到碱回收系统,从而大大减少废水排放引起的危害。只使用氧、臭氧和过氧化氢的漂白系统已在实验室范围论证,但在有可能全面商业化运行前,必须解决若干突出的技术问题。

过氧化物的化学性质

过氧化物漂白受 pH 的强烈影响,要获得最好结果,必须将 pH 调整和缓冲到10.5左右。活性过氢氧离子(HOO^-)的浓度按下列反应式随 pH 而增加:



在 pH 水平高于10.5时,有一些不受欢迎的副反应(过氧化氢的分解反应)和漂白反应相竞争,从而损害了漂白作用。 pH 一般通过加入氢氧化钠和硅酸钠进行控制。硅酸盐(平常加硫酸镁)在过氧化物漂白系统中起到稳定剂和缓冲剂的作用(参见图11-22)。

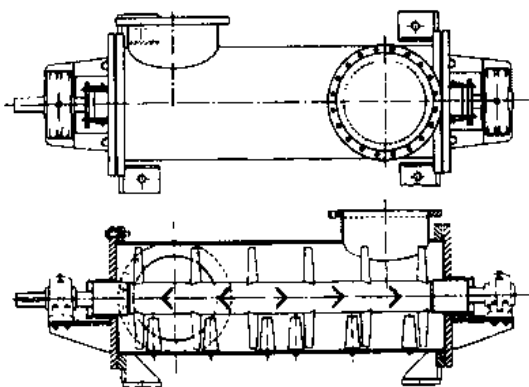


图 11-21 带压的单辊化学品混合器
(Impco/Ingersoll Rand 公司)

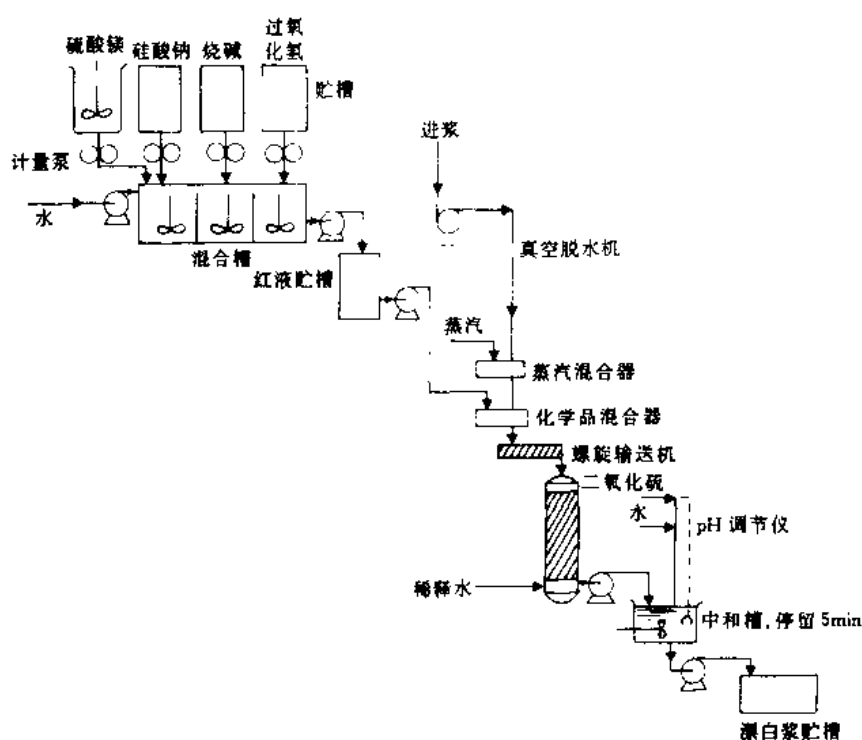


图 11 22 过氧化物漂白系统

尽管较高的温度加速过氧化物漂白的反应，不受欢迎的副反应也可获得更大势头。

较高温度对过氧化物的稳定性有不利影响，特别是存在重金属离子时。前面的酸性漂白段以及螯合剂（多数常为 DTPA）的应用，可减少这些重金属离子的破坏作用。

11.8 臭氧漂白

臭氧 (O_3) 纸浆漂白已在实验室和中试生产中作了广泛研究。在北美，臭氧纸浆漂白商业化的可能性，由于氧脱木素的逐渐采用而受到抑制。另外仍须解决的问题是臭氧发生设备相对较低的效率以及臭氧易于降解纤维素的低选择性。即使目前趋向于氧脱木素，但臭氧漂白与其他漂白方法相比较而所具有的优点，仍不失为一个可行的备选方案⁽⁸⁾。

经过系统研究的臭氧漂白方法，是采用高浓气相工艺，它类似于高浓氧漂（参见 11.4 节），且使用相类似的机械设备。主要的不同点是臭氧漂白在酸性条件下进行，因而纸浆在分散和送入反应器以前要用酸液预处理。

臭氧气体一般利用电晕发射法 (Corona discharge method) 生产。在该法中，所施加的高压电通过一个放电间隙，含氧气体从此间隙经过。放电造成氧分子的离解，其中有若干部分再结合成臭氧形式。从臭氧漂白的成本考虑，臭氧由氧气生产比较有利，且要求回收含氧的气体，将其送回到臭氧发生器。

发展臭氧漂白的主要推动力是消除或减少含氯化学品的使用。例如，一个新建厂的 OZEP 漂白流程，多半与深度脱木素结合起来，从而给予重要的潜在环境效益。消除漂白工段中的氯化物，有利于漂白工段的全部废水在碱回收系统中处理。

11.9 漂白设备

绝大多数在北美运行的浆厂都使用降流或升流塔，为漂白反应提供停留时间。随后的真空洗浆机除去反应生成物（参见 9.3 和 9.6 节）。主要的附属设备包括各类输浆泵（参见 9.7 节）以及混合蒸汽和化学品的混合器。少数几个厂在升流塔的顶部使用扩散洗涤器以代替真空洗浆机（图 11-23）。

使用系列升流塔时，所有各段必须同时操作，因为浆料以与底部进料相同的流量连续地从顶部溢流。去氯化塔的进料量自动地规定了以后全部升流塔的浆料流量。而降流塔流量则常要调节以维持恒定的浆位，但降流塔具有在塔内停留时间可随改变浆位而变化的优点。当降流塔在略低于最大生产能力进行操作时，它们可起到缓冲上下游生产能力的作用，所以在某段发生故障时不必关停另一段。而且还可在停机或维修期间很容易地从降流塔泵出浆料。许多漂白工段升流塔与降流塔结合起来使用。所有有“跑气”潜在问题的常压漂白段（如 C、D、或 E+O 段），至少必须有一个升流管，以便在最初反应阶段使化学品处于液压之下。

置换漂白

Rapson 和 Anderson 在 1964 年提出，如果使化学药剂连续地经过浆饼（pulp mat）进行置换（而不是将其混入到纸浆中），且保持传统条件不变，则可在常规温度下实行快速漂白。此快速漂白技术原来称为“动态漂白”，但现在的商业名称为“置换漂白”。由于每个纤维都持续地暴露在浓化学品溶液中（而不是像传统漂白那样，溶液的浓度越来越稀），反应速率就可加速。还发现由于高效率置换，随后各段之间的洗涤也不需要了；除补充新鲜化学品外，还可将大部分置换液循环回用，所以各置换漂白系统只有一小部分置换液排放掉。

置换漂白的原理以及流程图标志示于图 11-24。Kamyr 常压扩散洗涤器的开发，使置换漂白概念获得了商业化应用。Kamyr 成功地在单一塔内安装一系列扩散装置以完成多段漂白程序。氯化通常在中浓状态下进行，然后将氯化浆送到装有 EDED 段的置换塔下部（图 11-25）。为确保获得最高白度，有些系统还配有第二个塔，以便在 ClO_2 第二置换段与最终洗涤之间提供较长的停留时间⁽⁹⁾。已有不少置换漂白工段投入了生产，这些工段通常可满足显著降低能耗与水耗和减少占地面积的要求。化学品用量略高一些，主要是置换漂白在理论概念上尚不完善。

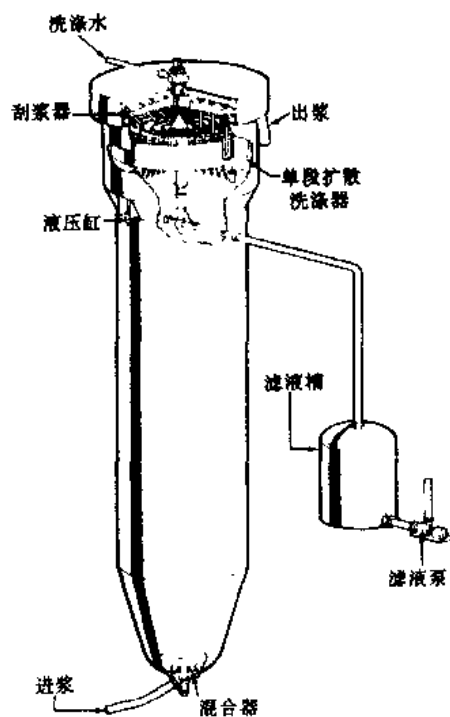


图 11-23 安装在升流塔上的 Kamyr 扩散洗涤器

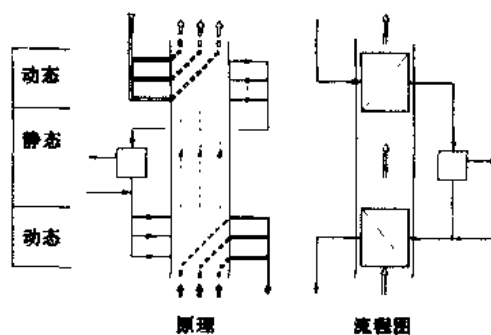


图 11-24 用于连续生产过程的置换原理及其流程图标志

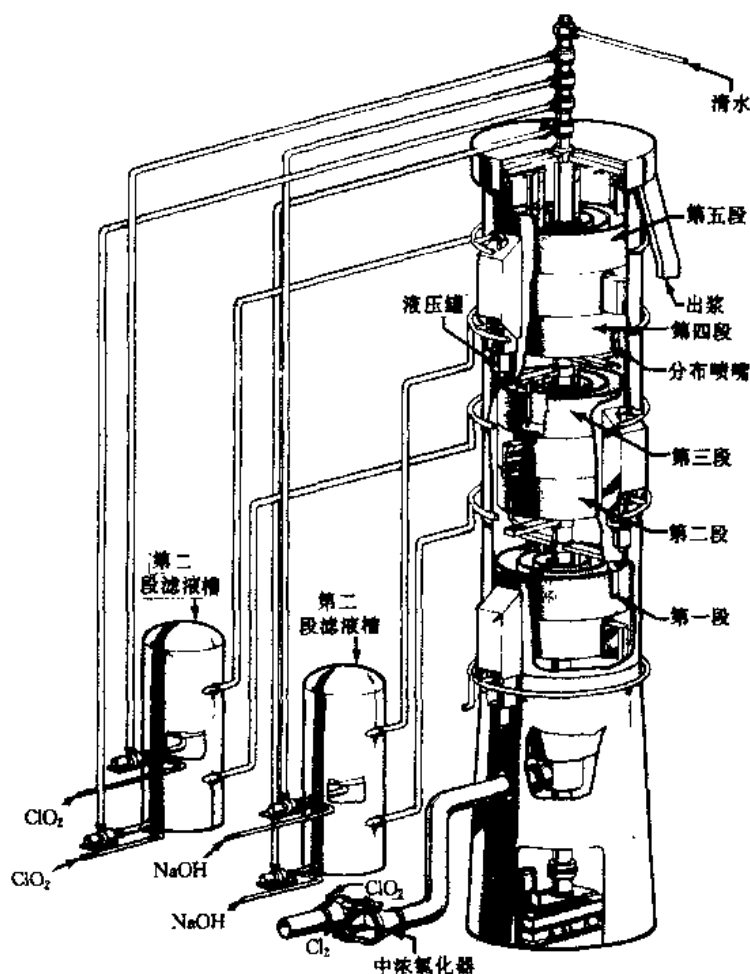


图 11-25 五段在一个漂白塔内的置换漂白设备 (Kamyr 公司)

11.10 滤液的循环

20 世纪 70 年代以前,绝大多数漂白工段,在塔后洗浆机上都使用清热水洗浆。这种做法必然带来很高的清水用量、输入大量能量来加热水、以及排出大量的废水等后果。随着能源价格的提高和环境要求越来越严,已经研究了各种节水方案。

最初是将相对“干净”的第 4、5、或 6 段洗浆机滤液,用作相应前一段洗浆机上的洗涤水。当发现这样做的风险不大后,浆厂就开始更大胆地回用漂白滤液,从而获得了节约化学品与能源以及减少废水量方面的好处。要解决的主要问题是,从氯化物和其他含氯化合物的积聚与 pH 的变动所引起的洗浆机的腐蚀。漂白工段目前常采用耐酸钢等材质方面措施以抵抗腐蚀性介质的侵袭。

为使清水量大幅度降低,采取逆流洗涤是必要的。真正的逆流洗涤系统(即从各段来的滤液用作前一段的喷淋水)其液流量至少能通过洗浆机上浆层及其水封箱系统。换句话说,稀释因子必须大于零;通常使用稀释因子为 2。不这样,滤液中的残余物质又被带回到同一段,杂质就会积累到过高水平。

传统 CEDED 流程的全面逆流洗涤,在将碱抽提段滤液应用到氯化段洗浆机时遇到了麻烦。引起泡沫与氯化木素物沉淀的问题,所以漂白工段中氯化与碱抽提滤液不能混合。合理

的做法是在下排喷水管上使用清水，而在上排喷水管上使用碱抽提滤液。剩下的碱抽提滤液排入地沟，它代表了全部漂白系统的主要排污水。绝大部分的氯化段滤液，则回用到来浆的稀释和氯气喷射器用水上

碱抽提滤液的再利用

最近开发了一个很有意义的再循环方法，它明显地减少了处理氯化后纸浆所需要的氢氧化钠量。在这个称之为 Papri Cycle Process 的方法^[10]中，碱抽提滤液仍按平常方法施加到氯化洗浆机的上排喷水管上。大部分滤液则随后施加到氯化洗浆机碎浆器上以代替正常加入的氢氧化钠。滤液几乎立刻与氯化浆起反应，然后很快将此浆料送到另加的洗涤段，在那里大量滤液带走了反应生成物。然后洗后浆饼连续进入常规（或加氧）碱抽提段。该流程通过利用早先被废弃的残碱，大约可减少 1/3 的正常氢氧化钠用量。

封闭循环工厂的概念

传统漂白硫酸盐生产的基本逆流洗涤和水循环方案都概括在了 Rapon 和 Reeve 的封闭循环工厂的设想中。整个系统已在加拿大的某个浆厂实施，虽然遇到了问题，但超低量废水排放的目的已基本实现^[1]。

封闭浆厂的流程图示于图 11-26。要实现最低限度的排放，下列工艺措施是必需的：

- (1) 漂白工段实行逆流洗涤。
- (2) 在第一漂白段（即氯化段）使用足量的二氧化氯以实现氯碱平衡，这样可防止产生的氯化物过多。
- (3) 漂白工段废水用于本色浆洗涤和白液稀释。
- (4) 将蒸发器冷凝水（已经过汽提加以净化）用作漂白工段洗涤水。

(5) 利用结晶化，从浓白液中回收氯化钠（盐）。最好将盐又用于静态电解厂（Captive electrolysis plant）以制取漂白化学品

原来若干不合适方案已根据实际运行经验加以修正，高度封闭的目的业已实现。主要问题来自碱回收循环圈中氯化物的浓度问题。该系统的效果除了废水处理费用降低外，显著节约了化学品和能源费用。原水处理费用的节约在有些工厂可能是很重要的。

11.11 纸浆增白（机械浆漂白）

“增白（brightening）”这一术语在我们这里是指“保存木素性”漂白处理。必须注意，此术语并不是标准化的；在实践中，“漂白（bleaching）”和“增白”的术语常常可以互换使用。有些技术专家使用“增白”术语只是指一些使白度增加的特定漂白处理。

为了保留高得率的优点，机械浆和化机浆必须使用不会溶解较大量木素的方法来进行脱色或增白。目前商业上用于此目的的化学品有起还原作用的连二亚硫酸钠（ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ）与起氧化作用的过氧化物（一般为 H_2O_2 ）。为改善新闻纸类纸浆的白度，单段漂白处理就足够了。新

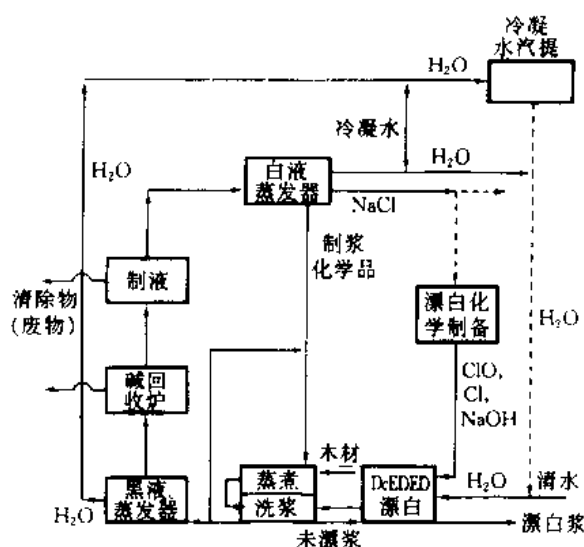
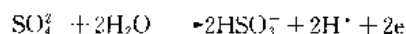


图 11-26 封闭循环的漂白硫酸盐浆厂简图

型两段过氧化物漂白可达到 80% (ISO) 以上的白度水平。遗憾的是, 还没有一种高得率浆的处理方法可获得暴露在日光和空气下完全稳定的白度。

连二亚硫酸盐漂白

连二亚硫酸盐天然是不稳定的。它能够以“稳定”形式提供, 也可将 SO_2 与专利化的硼氢化钠烧碱溶液起反应在现场制取。增白效果的获得是借化学品将有色醌型木素结构还原成无色的苯酚。主要反应是连二亚硫酸盐根 ($\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$) 氧化成亚硫酸盐 (SO_3^{2-}) 或亚硫酸氢盐 (HSO_3^-), 释放出活性氢:



然后氢与纸浆化合, 使“发色团”脱色。

影响连二亚硫酸盐增白的变数列于表 11-4。

表 11-4 影响连二亚硫酸盐增白的变数

原品质	杂质	工艺变数	工艺条件
<ul style="list-style-type: none"> · 材种 · 条件 (例如朽材与心材) · 贮存时间 · 水分含量 	<ul style="list-style-type: none"> · 挟带的空气 · 重金属离子 	<ul style="list-style-type: none"> · 温度 · pH · 螯合剂用量 · 浓度 	<ul style="list-style-type: none"> · 混合状况

操作一般在 4%~8% 浓度范围内进行, 以便在经济规模的停留塔中实现无空气混合 (air-free mixing)。pH 控制在 5.5~6.5 范围, 从增白效果和由还原剂分解而引起的化学品损失来考虑, 此条件最佳。一般建议在 60℃ 停留 1~2h。如果使用较低的反应温度, 停留时间要增加一些。化学品用量一般限于 1% (对浆) 以下, 因为更高的用量白度增加并不多。

根据所用工艺条件的不同, 用连二亚硫酸盐漂白总有或多或少的副反应 (即由连二亚硫酸盐被氧化而引起的化学品浪费)。较高的温度与较低的 pH 值, 特别是化学品与浆料混合不好, 导致连二亚硫酸盐的无谓浪费。连二亚硫酸盐溶液暴露在大气中或混入气泡都将引起迅速的氧化。除非浆料经过脱气处理, 空气氧化总会使连二亚硫酸钠遭到若干损失。

众所周知, 铜、铁和其他重金属离子限制白度的提高并对白度稳定性有负面影响。在连二亚硫酸盐增白时, 三聚磷酸钠 ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$) 被广泛用作螯合剂以减少这些重金属离子的负面影响并防止形成不良的有色盐类。其他诸如硅酸钠等螯合剂也都是有效的。

连二亚硫酸盐增白效果的取得, 跟所用原木特性与贮运方法有关。例如, 从雪松类和柏类木材制得的机械浆, 连二亚硫酸盐的增白效果就不好。同样, 贮存时间很长的和 (或) 含大量朽材或心材的原木, 其纸浆对连二亚硫酸盐增白的响应也可能是很差的。

过氧化物 (另见 11.7 节)

过氧化物增白传统上是用单段工艺, 在 15% 以下的浆浓度范围进行。近年来, 对更高白度、更高质量的机械浆的需求, 已促进了更先进工艺的开发。其趋向是, 使用能回用残余过氧化物的系统。

单段系统通常适用于白度增加值在 15% 以下。如果只需中等程度的增值 (10% 以下), 使用中浓系统就够了。要使白度增加值超过 10%, 一般需用高浓系统; 这种高浓增白所需的停留时间短, 化学品用量少, 但设备费用较高。为在加入过氧化物前达到 25%~40% 的浆浓度, 需使用压榨装置。

最大的白度增加值(15%以上)要求有相当量的残余过氧化物⁽¹²⁾。因此,从经济角度出发,一般要求回用残余化学品。在单段系统中,借洗涤反应塔后的纸浆,以及将若干滤液再循环回用,降低化学品成本是有可能的。但因为相当大量的废液无法回用到高浓度塔去,一般就要使用两段系统,此时第一个塔为中浓,第二个塔为高浓(图11-27)。两段系统对获得更洁净的纸浆也有好处;第一段后的压榨洗涤也除去了浆中的抽提物及其他有机物。

混合流程

在要求白度增加值略高于单段中浓处理时,也可考虑用两段过氧化物/连二亚硫酸盐流程。由于过氧化物与连二亚硫酸盐的作用基本是叠加的。采取在每段使用低化学品用量的两段系统运行,可能有一定的经济意义。在一个典型系统(图11-28)中,第一段碱性过氧化物处理在降流塔中进行。 SO_2 溶液从下部注入以消耗残余过氧化氢和降低pH。然后加入连二亚硫酸盐溶液,并在升流塔中进行第二段反应以免除空气的混入。

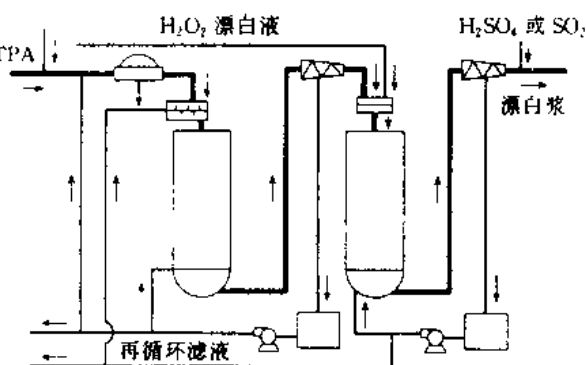


图 11-27 两段过氧化物增白流程 (Interox)

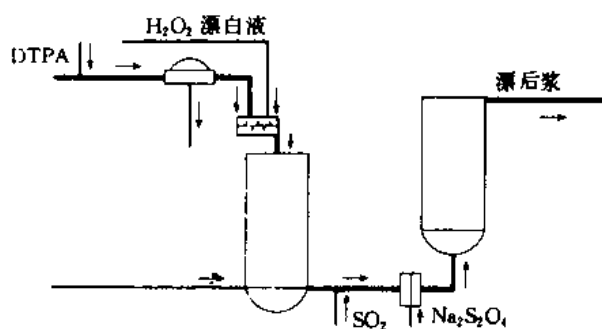


图 11-28 两段过氧化物/连二亚硫酸盐增白流程 (Interox)

参 考 文 献

- (1) TAPPI Informaton Sheet, TIS 0606-21 (Issued 1988)
- (2) BETTIS, J. Bleach Plant Modifications, Controls Help Industry Limit Dioxin Formation *Pulp & Paper* (June 1991)
- (3) PRESLEY, J. R. Bleach Plant Faces New Environmental Hurdle in Absorbable Orbanic Halides *Pulp & Paper* (September 1990)
- (4) VAN LIEROP, B., et al Using Oxygen in the First Extraction Stage of a Bleaching Sequence *Journal P & P Science* 12: 5: J133-140 (September 1986)
- (5) TENCH, L. and HARPER, S. Oxygen-Bleaching Pratices and Benefits: an Overview *TAPPI Journal* (November 1987)
- (6) MILNE, P. T. High-temperature, Short-Retention Hypo Stage Cuts Chemical, Water Use *Pulp & Paper* (March 1981)
- (7) ELLIOT, R. G. Utilization of Calcium Hypochlorite in a CEHD Bleach Plan *TAPPI* 54: 5: 762-764 (May 1971)
- (8) SHACKFORD, L. D. Shifting Environmental Requirements Renew Interest in Ozone Bleaching *Pulp & Paper* (October 1990)

- (9) GULLICHSEN, J. **Displacement Bleaching-Past, Present, Future** *Tappi* 62 : 12 : 31 - 34 (December 1979)
- (10) BERRY, R. M. and FLEMING, B. I. **Using Extraction-Stage Filtrate to Preextract Chlorinated Pulp** *Journal of P & P Science* 14 : 5 : J121 - 124 (September 1988)
- (11) ISBISTER, J. A. , et al **The Closed-Cycle Bleached Kraft Pulp Mill at Great lakes-An Advanced Status Report** *Pulp & Paper Canada* 80 : 6 : T174 - 180 (June 1979)
- (12) LACHENAL, D. , et al **Bleaching of Mechanical Pulp to Very High Brightness** *TAPPI Journal* (March 1987)

第 12 章 制浆厂的运行策略与经济核算

假如产品有稳定的市场，浆厂的效益就取决于产量及生产成本。当产品需求强劲，浆价攀升时，总是强调提高产量。当市场价格下跌时，则通常在控制成本上给予更多的关注。纸浆市场的特点是具有周期性，旺求期与疲软期相互交替。

生产总成本主要由投资、原木/木片、能源、化学品劳动力、和运输等单位成本所决定。这类成本在各国和各地区都有很大差别。四个不同国家新建厂漂白硫酸盐商品浆成本（包括运到西欧的费用）的一项比较示于图 12-1。根据 1989 年估计，智利享有比瑞典要大得多的成本好处，而加拿大西部和美国南部则居于中间。因为木材成本差别是主要因素，观察一下比较软木和硬木的木材生长速率与成本进一步比较是很有意义的（见图 12-2 和图 12-3）。诸如智利、巴西、新西兰和南非等国家都得益于高生长率和相当低廉的木材价格。

通常，北美工厂规模的经济性在生产每吨浆的相对投资和运行成本上，都对大硫酸盐浆厂更为有利。图 12-4 示出漂白硫酸盐厂规模对每吨浆投资的影响，并显示出对一个竞争性浆厂，日生产能力 700~800t 是最小规模。实际上，有些专家现在相信，对一个新漂白硫酸盐浆厂而言，最小的经济可行规模是日产 1000t 以上。但应注意，其他形式的制浆（例如 CTMP 和

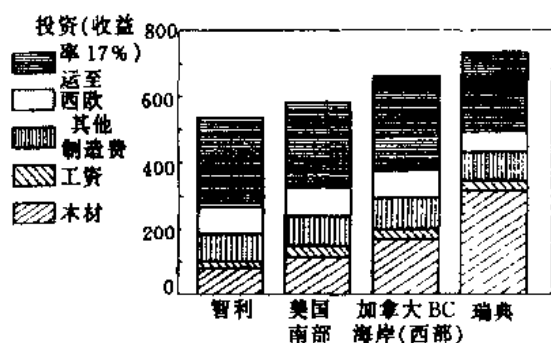


图 12-1 新建厂漂白硫酸盐商品浆的相对成本，以美元计
(R. Brandlinger of Sodra Skogsagarna)

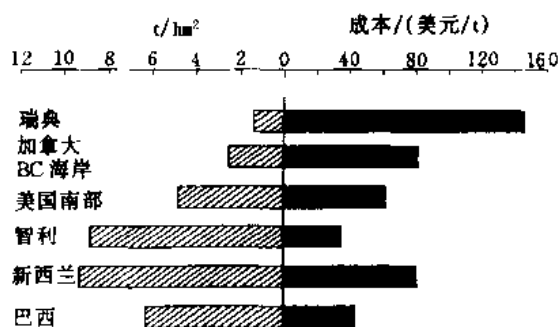


图 12-2 相对的软木生长率 (左) 与成本 (右) (R. Brandlinger)

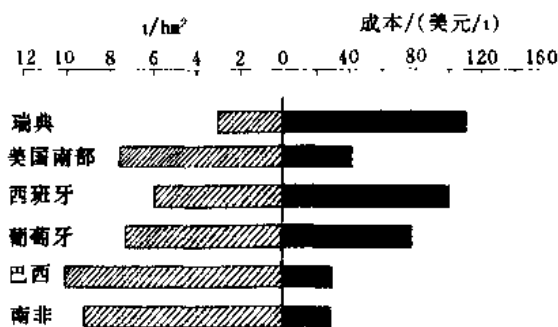


图 12-3 相对的硬木生长率 (左) 与成本 (右) (R. Brandlinger)

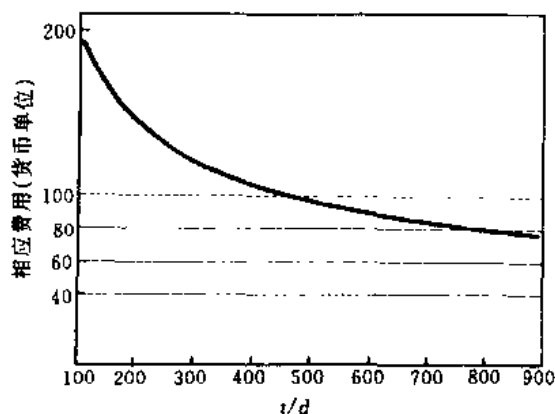


图 12-4 漂白硫酸盐浆厂投资随规模大小而波动，其相应部分为每吨产品的投资额 (Poyro)

NSSC), 经济上能存活的产量可低至日产 300t。

12.1 厂址选择

在选择一个浆厂的厂址时有许多因素是很重要的⁽¹⁾。其中最基本的要求是可资利用的理想原木品种、熟练劳动力、运输设施、合理价格的充足电力和供水。其他的考虑是临近化学品供应点、地区税率、废物处置的要求和文化与物质生活保障。在厂址选择上的目标“底线”是要将工厂建在交货产品能获得最低总成本的地点。

通常, 考虑新建厂的厂址可分两个阶段。首先是对许多推荐的厂址进行初选, 将寻找面缩小为几个备选点。然后, 在作最后决定前进行更详细的分析。一个典型进度与所考虑因素的一览表列示于图 12-5。

选厂的原则传统上只考虑明显影响生产和各类成本的因素。现在由于必须(根据环境法

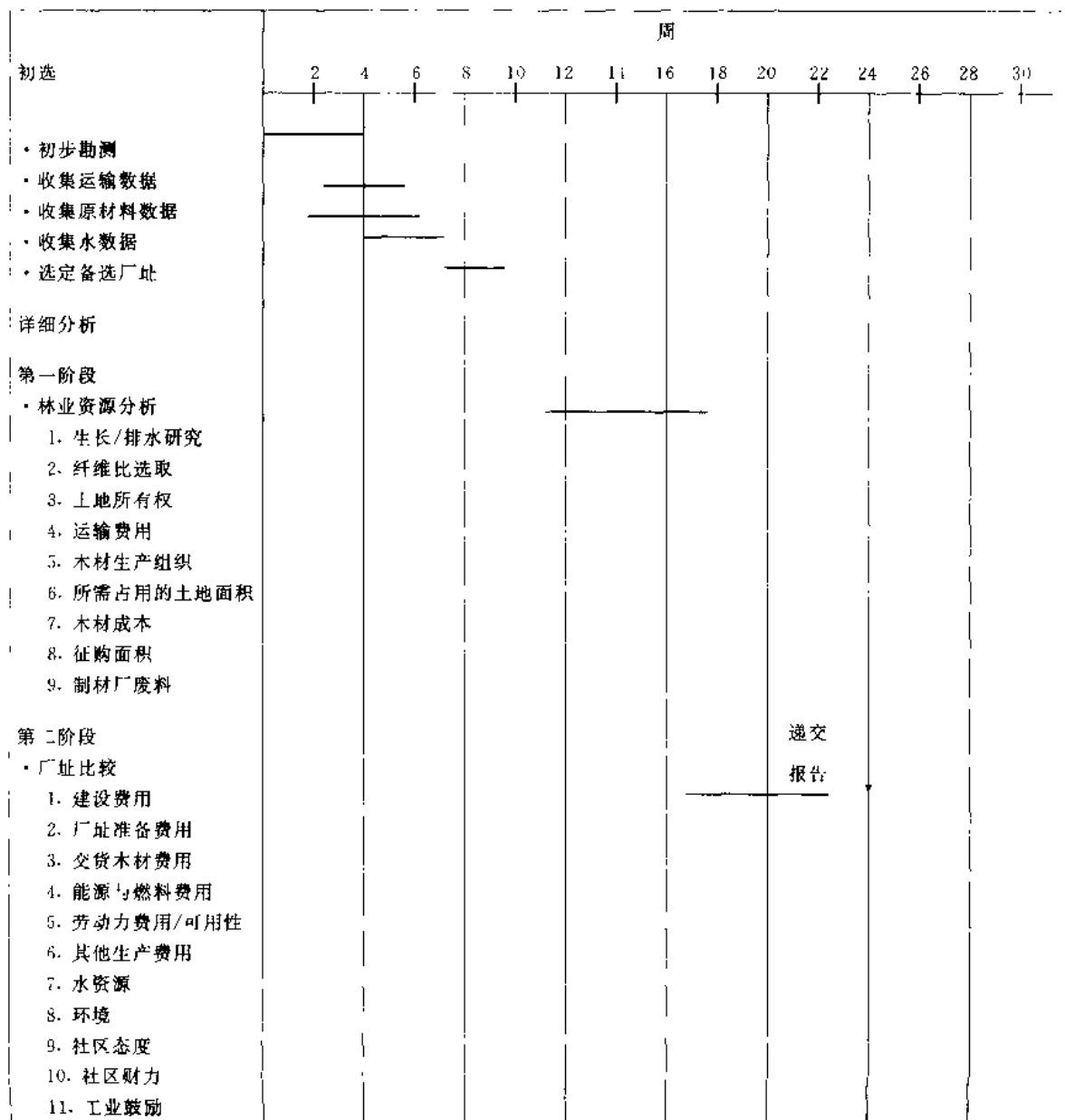


图 12-5 典型的厂址选择图表 (R. B. Ellerbee)

规要求)递交许可申请表、环境影响评价、以及听取公众意见等⁽²⁾,情况就变得比较复杂。此外还必须评价有关公众态度、政府法令、地缘政治等所有因素在未来的可能变化。

由于市政当局在对待所有新建厂项目请求方面的阻挠,一般认为在 20 世纪 90 年代改建项目将更占优势⁽³⁾。无论如何,这可能是正确的,即假设绝大多数在美国(或许不包括阿拉斯加)的有吸引力的新建厂址都是受到了选购充足低价木材的支持。多数情况下,公司的发展战略是扩建和使现有工厂设施升级,或收购另外的能力利用不足的公司的工厂设施。

12.2 工艺设计与平面布置

任何工业的生产过程都是由许多单元工序所组成,在浆厂设计中,这些单元工序都布置在一个合理的流程中;以纤维原料(如木片)处理开始,而以纸浆成品处理(以高浓浆、湿浆板、或浆包形式外运)终结。

纸浆制造业是一个成熟工业。因此,其制造过程的设计已纳入十分规范的模式。所有硫酸盐浆厂,除极少数例外,都含有同样的工艺步骤。这并不说所有工厂的布置都是一样的。例如。有些硫酸盐浆厂布置成一个带“操作走廊”的直线流程,其优点是在以后扩建时可以在第一条生产线旁边,平行地安装另外一条生产线。另一些工厂也可选用“环绕式布置”以节省较多的占地面积,以及便于形成一个围绕中心操作室的簇状操作车间。

无论其外观如何,布置规划应方便于生产操作,促进操作人员和维修人员的有效利用,并为从业员工在进行操作和维护时提供方便、安全、和舒适的条件。布置也可能旨在减少或方便生产过程的物料运送。在制浆过程中,运送纤维的特点是还要随之运送大量的生产用水或液体。

硫酸盐浆厂的建筑要求,根据气候条件而异。在寒冷的北方气候,工厂倾向于全部在厂房内,并很好地保温封闭;而在温暖气候,则倾向于室外安装设备及采用轻型覆盖结构。

硫酸盐浆厂一般以连续制造作业为特征。严格地说,这个概念意味着生产过程的物流稳定地从这个工序到那个工序,而在生产过程中的任何地点都没有可调控的贮存量。但实际上有很多浆厂使用间歇蒸煮作业,所有浆厂实际都有不少“缓冲存量”以便将生产部分与其他不正常或不连续的部分隔离开来。图 12-6 列示出一个典型的漂白硫酸盐法制浆和回收流程生

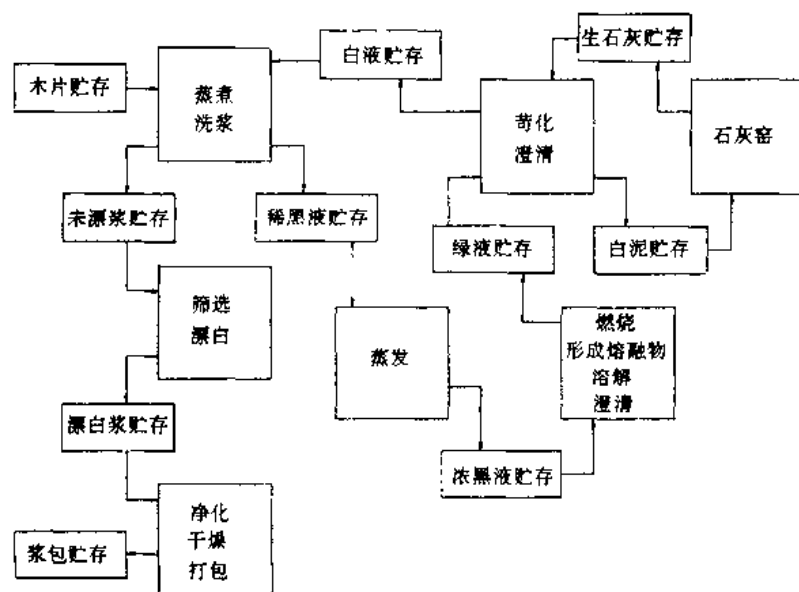


图 12-6 表示缓冲贮存的硫酸盐浆生产过程简图

产的主要存量缓冲点。通常,每个这类缓冲点的容量相当于可生产好几个小时。

12.3 生产控制

浆厂生产的目的是通过各种加工和分离步骤,在最快捷情况下尽可能考虑原材料的大量输入和产品得率的情况下,将可利用的纤维原料加工处理成均一的、高质量的成品。在正常生产时,各个单元工序将过程的物料调节在相同的流速(通常按蒸煮器生产设定),缓冲贮量维持在生产能力的40%与60%之间。

万一发生机械故障或其他事故,使浆厂的某个车间生产停顿或减产,在有可能利用库存或存量的情况下,该车间的上下游仍有可能继续生产。起初,生产量可以不受影响,但如果事故持续几个小时,最后就必须降低生产量,而在没有更多贮存空间可用以接受产品或如果没有适当库存可以提取的情况下,最终就会使这些车间停产。由于“多米诺”效应,单个车间的任何长时间麻烦,最后都将使所有生产车间停机。

在已发生故障并加处理后的一段时间内,有些贮存槽很可能相当满,而另一些则实际上空着。于是生产调度上的任务就是使所有贮槽的贮存量回复到所需的40%~60%范围,从而要求有些车间在一定程度上要有比其他车间更高的生产量。

关于碱液贮存液位的一项附加任务,是在整个系统内维持一个适当稳定的活性碱量。为达到此目的,各个槽内的液位要折算成等量的烧碱,再进行计算,以便维持运行的库存量。如果发现库存量下降,化学品(正常是以芒硝、碳酸钠或烧碱的形式)补给量就要增加;如果库存量上升,补给量就要减少。

损失时间分析

对生产损失中的时间损失进行系统分析,可以是改进生产线使用性能的一个重要工具。有一个损失时间分析的很好方法⁽⁴⁾,即依靠记录每个车间的生产中断情况和产量变化。该方法确定了两个主要的运行性能估量办法:

- 可用率(可靠性估量)——车间可用于批量生产的总运行时间部分。
- 利用率——车间在批量生产中所利用的总运行时间部分。

利用率与可用率之比(总是小于1.0)传达出重要的信息。比例接近于1.0时表明该车间是薄弱环节。低比例(比如低于0.8)表明车间的生产能力没有全部得到利用。车间的上游缓冲贮存量的大小将影响结果,在进行分析时应加以考虑。

生产瓶颈(薄弱环节)的定义

在工厂内部,每个工序都在一定的生产能力下运行,通常称之为“运行常规”。在工序内对构成了限制全厂生产率发挥的设备,要强调改造或更换⁽⁵⁾。在解决了某个瓶颈后,产量就可以有所增加,直至受到另一个工序的限制为止。

大多数现有硫酸盐浆厂都受碱回收能力限制的制约。碱回收炉是厂内的最大投资项,而且通常没有设计富余量。碱炉不能容易地进行改造以提高生产能力,而且还会无法兼顾安全因素。虽然如此,采取运行策略也可有助于减轻碱炉能力限制的影响,这方面常用进炉黑液固形物来表示。例如,减少无机固形物的负荷可通过在蒸煮使用尽可能少活性化学品和通过将蒸煮液苛化度维持在最高可实行水平,以最大限度地减少化学品循环圈的“静载物(即不参加反应的)”。以前减少有机物负荷的策略是提高蒸煮的Kappa值指标;但由于环保原因,这种将大量脱木素的负担转移到使用含氯化学品的漂白工段,已不再可取。

类似的策略也应用于其他生产的关键工段。例如,纸浆干燥能力的限制通常靠提高外销

纸浆的水分含量来解决,虽然运输额外增加的水分,大大降低了因增加产量所带来的利润率。蒸煮器生产能力的限制也许可从减少渗透时间来弥补,但很可能是以高筛渣为代价。所有运行策略所可能产生的负面影响都必须仔细地根据效益进行评估。

为达到所选择的运行目标,能够考虑的通用做法可归纳如下:

- 调正运行参数
- 调正运转设备
- 调正质量控制指标
- 调正总产量
- 工厂计划维修
- 修改订货配比
- 调正入口木材的配比
- 调节湿浆库存量(充分利用贮存能力)

由于偶然因素可能起作用,建议应用计算机模型以提供生产经济运行的评估和估计各种策略方案的影响。

12.4 库存量控制

库存控制对任何制造过程而言,都意味着采取步骤以维持原材料和成品在适当水平。对一个典型的工业化硫酸盐浆厂而言,其主要的库存考虑是指原木(木片)、制浆和漂白化学品、以及成品浆包。

原木和木片库存原则上应大到足以克服原料供应上的预期波动。除此以外,由于工厂与原木和木片供应商有许多各种各样的安排,很难统一化。例如,在极北部,那里木段运输是有季节性的,最优先的考虑就是在夏季末提供足够的原木以支持工厂渡过冬季,直至原木恢复供应。在这种情况下,原木的库存波动明显地带有季节性(有意思的是,纸浆质量参数可显示出相应季节性倾向对原木或木片贮存期间所发生物理变化的影响)。在较温暖的气候中,木段是整年运送的,原木与木片的库存基本上维持在很窄小的范围内;足量贮存的主要要求是平衡原木品性的波动、提供材种的混合、以及避免在供应上的短时间中断。许多浆厂与制材厂有联系,不管单位库存需要是多少,无条件地接纳全部废材木片。

在购买木片占了原料供应大头的情况下,经常主要考虑的是要对制材厂和胶合板厂可能出现的停机采取保障措施。通常保障措施是贮存够浆厂60~90d用的充足木片。这类浆厂有时发现,大量贮存木片对于扭转离谱的木片价格或作为谈判木片合同的筹码很有好处。另一个重要之点,是考虑所购木片的材种变化;这可能是必要的,即当某个材种木片供应超过需要时贮存一定量木片,而当需要超过供应时,再使用这些材种的木片。新厂在加强采购安排的同时,有时发现它很希望在开机前贮存大量的原木或木片。这些库存量可以为正常库存的3~4倍。在工厂设计时给出充足的面积以安排这些特别高的库存量是很重要的。

在有些工厂,生产车间负责控制原木、木片与化学品的库存。而有时厂内某个独立单位可能对所有原木/木片的采购和贮存负主要责任。在这种情况下,成品浆库存(即浆包)通常由供销经理控制。在另外一些公司,原料和成品的采购、运搬与贮存可能都由物料管理集团负责。

对制成品库存,管理目的是手头有足够的物资以满足用户的要求,而在同时,尽量减少库存中的流动资金,并控制与运搬库存品有关的操作费用。显然,这两方面必须平衡好,以

获得和满足用户与降低成本两者的最佳配合。通常,当纸浆需求增加时,浆厂生产充满各种订单,没有真正库存控制方面的积极性。而当纸浆需求疲软、市场竞争加剧时,库存控制的需要最大。此时,其意图是要确保将有充分的货物可提供给许多地方,以尽可能迅速地响应市场的机遇。但如果在库存中积压流动资金太多,这种策略就可能没有资金效益。

12.5 经济考虑

生产成本可分成两类:

- 可变(或直接)成本
- 固定(或不变)成本。

可变成本是那些与生产量有关的费用,而固定成本则是固定的,跟生产量无关。可变成本的重要项目有木片、化学品和蒸汽。固定成本的项目包括生产人工费、维修费、工资、税金、保险金、和折旧。

虽然“基本纸浆产量”的利润率跟可变和固定成本两者有关(图 12-7),但以后增加的产量(在原来基础水平上)可看作只对直接成本起作用。重要的是,增加产量(即产量超过基本生产量)非常有利可图;从而使企业对增加产量有很大的兴趣。基本产量与增加产量后的利润率差别比较示于图 12-8。

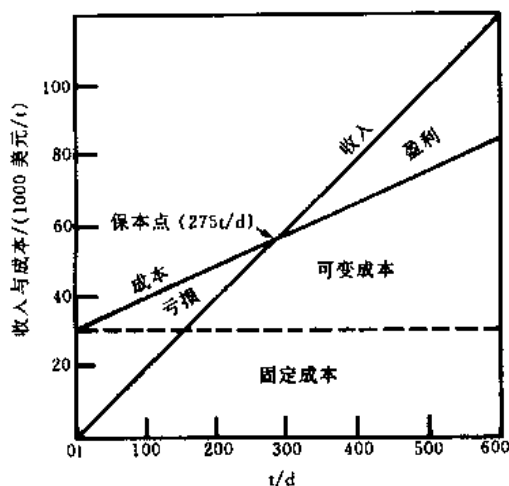


图 12-7 在 275t/d 保本点, 浆厂的生产成本与盈利情况

成本效率 (Cost-effectiveness)

工厂设施的相对陈旧性(或先进性)与利润率有关。但设备的使用年头只是影响陈旧性的一个因素。一个与市场很好配合的老厂也可以某种较低的生产成本获取利润并成功地与新厂相竞争。

有时,工厂无法控制的外部因素也可能很重要。原料费用、环境需要、运输费用和外购能源费用都可能发生变化(有利的或不利的)以影响工厂利润。在管理上评价工厂先进性的重要判断标准是能源效率、原料成本、单位产品的工时、总成本和投资额。一个工厂有效地处理这些因素将决定其成本效率。

事实上,一个工厂即使拥有了最先进的技术,如果由于它对设备和设计的不明智选择,使开机产生不少麻烦,就可能会造成严重亏损。投产后最初几年对最终投资回报率的影响是很大的。因此一个工厂为了使项目具有效益,必须尽快地达到设计能力。

新技术的应用

浆厂制浆作业上的技术进步与研究实验室和

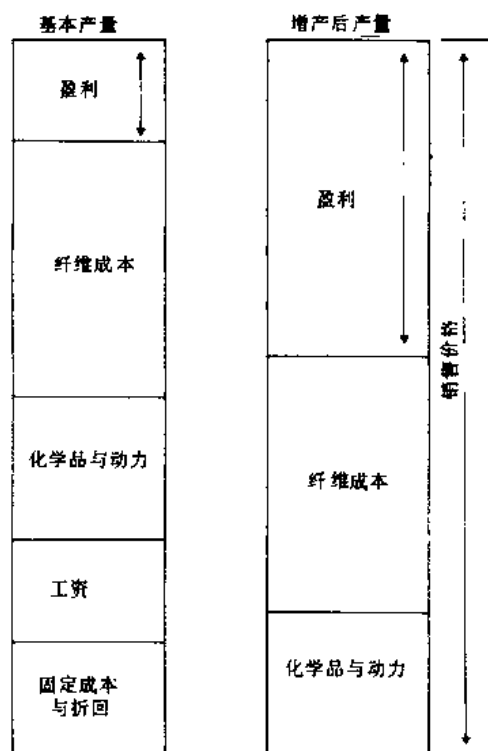


图 12-8 基本(正常)产量与增加产量后的利润比较

设备制造商所鼓吹的表面上不断发展趋势相比较,似乎进展迟缓。但虽然在任何某一年看来进步的数量不好察觉,如将几年来的进步加以回顾还是相当大的。

造纸工业急于要采取节约成本的技术,与利润系数有关的高投资已妨碍了快速收回资金和高风险投资。从实验室或中试生产发展到工业应用,包括许多无法回答的问题;往往必须解决所遇到的无法预测的难题,有时费用相当高昂。对新厂来说这是并不常见的(特别是利用了不成熟的技术时),需要有很长的试产期才能使生产转入所要求的效率水平。对延长试机时间的高成本看法,已影响到造纸工业在进行技术改造时采取保守做法。

综合生产的价值

大型的综合性生产(如图 12-9)可以节约工厂公用部门的费用,除管理部门费用外还有诸如电站、木材运搬、以及水/废水的处理等费用。木材加工与制浆生产综合在一起,便于木材废料的优化利用和减少木材调配的运输费用。再进一步与造纸综合起来,可减少纸浆加工费用和免去纸浆的运输。

除了“技术性综合”(即制造过程的综合)外,许多林产品公司还在其他层面,例如通过联合销售机构和统筹货运等方面进行合作。

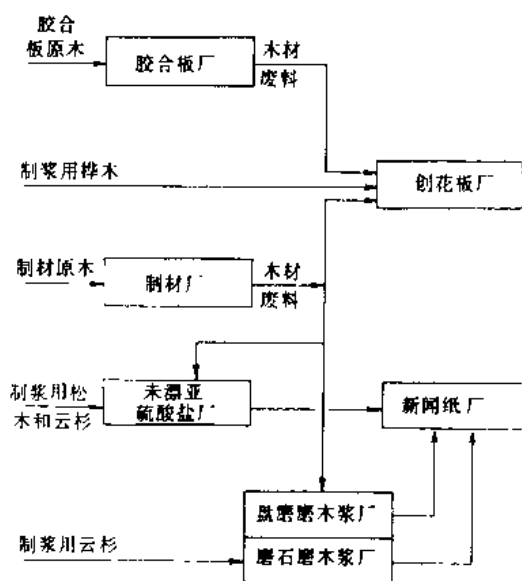


图 12-9 综合性林产品工厂的简图

12.6 成本控制

管理良好的工厂,通常都对日常成本监控有高效的管理和控制程序。尽管如此,几乎都能从生产和设计过程中查出木材、化学品能源和人工方面的大量浪费。

成本控制系统主要包括编制成本预算和考察预算成本的变化。这种做法有利于直接把注意力集中到明显的高成本区域。成本监督过程也是很有用的,因为它包含各种级别的检查和逐步灌输一种“广播节目表”式的成本意识。但一开始成本指标订得太高,不能激发员工的干劲,甚至会鼓励松松垮垮的运作管理。解释成本的变化,要多问“为什么”,而不是“什么”。有时,单位成本的降低掩盖消耗量的增加;除非成本控制表上同时列出单位成本和消耗量两者的变化情况,否则往往会忽视消耗量的增加。

图 12-10 是一个成本监督系统的例子,图上列出了木材和蒸汽单位成本数据的表格。木材成本是影响浆厂利润率的最为重要的项目。这里对木材的质量和材种配比进行若干控制是完全可能的,这些努力通常会得到优厚的回报。此外,蒸汽(或能量)成本通常是每吨产品总成本的重要组成部分。通常在提高蒸汽利用率方面所作努力更多;而随着蒸汽消耗量的相对降低,蒸汽成本下降 10%,将对纸浆成本产生类似的效应。

大多数工厂的经理鼓励全体员工提出降低成本的合理化建议。建议可包括改善工艺、使用新控制程序或新技术、应用经改进的设备等。任何包含资本金支出的建议,都必须根据标准的投资回报原则进行论证。使用资本金支出时要回答下述问题:

- (1) 当前情况是什么以及在哪些地方存在着缺陷?
- (2) 可采取什么措施来改善或弥补这些缺陷?

供应木材	单位体积成本		单位体积的绝干质量	每绝干吨木材的成本	每绝干吨木材的得率		每绝干吨木材的成本		质量利用百分率	
	实际	预算			实际	预算	实际	预算	实际	预算
木片 (一定品种和/或数量)	(对每台锅炉)									
锯末 (一定品种和/或数量)	蒸汽成本 (根据燃料)		单位燃料成本		每百万Btu的用量		每百万Btu的成本		每百万Btu的利用百分率	
			实际	预算	实际	预算	实际	预算	实际	预算
	油									
	废气									
	废料(A型)									
	废料(B型)									
	废料(C型)									

图 12-10 木材和蒸汽的单位成本表

(3) 每个措施方案的利弊是什么?

(4) 推荐哪个方案, 为什么?

当投资购买新设备要求达到更高的生产水平时, 必须对增加的投资与所增加的盈利进行权衡。因为只要产量稍微超过基本产量, 就会有很大的经济效益, 这类投资通常具有很大的吸引力。但“增加投资”所产生的经济效益, 往往不是直截了当的。更为经常的是, 由于忽略了增加产量所引起的附加影响, 而过低地估计了真实成本。例如, 如果克服了洗浆方面的瓶颈, 生产能力的确可得到提高, 但抄浆机由于额外增加了蒸发负荷, 将会产生什么影响呢? 或者, 碱回炉的固形物负荷提高, 将产生什么影响呢?

能量平衡

能量平衡对那些浪费或能量超耗的地方是个很有效的工具。表示收入和支出的能量平衡, 应该经常在全厂和生产过程的各个环节进行。最理想的是, 如果有足够的仪表和检测设备, 就可充分利用计算机显示整个日常的能量平衡状况。

应该经常测试能量平衡, 以确保是否有任何浪费掉的热量可以回收利用, 或者是否有低卡热量可以取代所用的新鲜蒸汽。特别是各种锅炉的热效率应该精确地测定。附带说一下, 必须研究和开发使废木料 (例如薪炭材) 的利用率和热值能达到最佳化的热力系统。

参 考 文 献

- (1) STOVALL, J. H., et al *Considerations in Selecting a New Mill Site Tappi* 63 : 8 : -66 (August 1980)
- (2) KINSTREY, R. B. *Greenfield Mill Site Permitting Can Take Years of Preparation Pulp & Paper* (February 1991)
- (3) BASSETT, C. D. *Mill Construction Trends Tappi Journal* 67 : 3 : 46-48 (March 1984)
- (4) AURELL, R. And ISACSON, C. *Lost-Time Analysis: Key to Improved Production Line Performance Pulp & Paper* (October 1982)
- (5) FORBES, D. R. *Practical Aspects of Facilities Planning Tappi Journal* (September 1989)
- (6) BLACKBURN, T. And LANE, J. *Project Management at the Mill Level Tappi Journal* (March 1986)

EuroScreen

The Screen Specialist

-Norway

EuroScreen AS



新一代楔形筛网型筛浆机 筛框介绍！

EuroScreen公司目前可为制浆造纸工业提供楔形筛网型(wedge wire)筛浆机。新的筛浆机生产线使用最先进技术生产，且部分技术将属于专利性的。

- ⇒ 浆机采取钨极惰性气体保护法焊接，但用我们的专利技术处理焊后筛框，保证筛浆机绝对不变形，不留下焊接或滚压应力。
- ⇒ 这项技术再加上坚固的设计结构，将使我们的筛框成为市场上强度最好，最为稳定的筛框产品。
- ⇒ 依靠我们非常现代化和高效率的生产线，我们相信该筛浆机在价格上属于最具市场竞争力的一种。而该产品最大的特点或许是能缩短交货时间。虽然要将筛浆机的一切都调试好需要几个月的时间，但实现收到订单后5天内交货的目标是完全可能的。

👍 意外事故的紧急情况

我们有能力在24小时内交付非涂覆的筛框，而在48~60小时内交付已涂覆的筛框。这样虽然费用会高一些，但能很快用上。另一个重要设计特征是筛浆机能重新修复，这会使您获得比同类筛框长出2~3倍的筛框使用寿命。

⇒ 世界范围的服务

EuroScreen AS

斯勘的那维亚、欧洲、亚洲、南太平洋和非洲

挪威 电话：47-35-05-0002
传真：47-35-05-0313

EuroScreen INC

加拿大、美国和中、南美洲

美国 电话：1-205-646-1801
传真：1-205-646-1802



www.euroscreen.com



EuroScreen公司为全世界制浆造纸厂更新已被磨损和损坏的楔形筛网型压力筛浆机的历史已有7年之久

- ⇒ EuroScreen公司能修复已磨损和损坏了的楔形筛网型筛浆机，使其功能类似新筛浆机，且比新筛浆机具有更长的使用寿命。
- ⇒ 我们的加工工艺能将每个筛板的外形尺寸与筛缝更新到原来的或操作者所需求的状态。
- ⇒ 操作者可以选择减少和增加缝宽或外形尺寸，在不增加费用的情况下提高生产能力或过滤质量。

EuroScreen公司的解决方案！

磨损的楔形
筛网

研磨物料的磨损作用会损害楔形筛网的外形轮廓，使其呈现出平面角度。被更新的部分恢复了原来的“楔形”外形。

正常的磨损会造成生产能力降低。EuroScreen公司能修理各种筛板，并将其修复到原来的外形尺寸，完全恢复生产能力。



由

EuroScreen

修复了的楔形网筛

第 13 章 抄纸浆料的制备

浆料制备是制浆厂或浆板仓库与纸机之间的分界面。在一个综合性工厂，浆料制备始于高浓贮浆槽出口的浓浆稀释，而终于各种抄纸配料在纸机贮浆槽中的混合。在单独的造纸厂，浆料制备从浆包送入碎浆系统开始。

浆料制备的基本任务是取得所需的纤维性原料（纸浆）和非纤维性组分（助剂），根据需要处理和改进每个配料组分，然后连续而均一地将所有组分混合成抄纸浆料。主要目的是生产出均一的抄纸配料，以保证稳定的纸机运行和高标准的纸张质量。通常包括下列工序：

- 碎浆。浆包（或其他纤维原料）分散在水中形成泥浆或悬浮液状。此工序可以是连续或间断的。
- 精磨（或打浆）。纤维受到机械作用力处理，以发展出其所制产品的最佳抄纸性能。此工序通常是连续的，但有些非木材纸浆和特种浆仍然是间断处理的。
- 湿部助剂的利用。为了赋予纸张产品与特殊性能或为了有利于抄造过程，将各种各样的矿物和化学药剂加入浆料中。药剂制备一般是间断进行。其任务、方法和化学品相互作用（湿部化学）在第 15 章中讨论。

- 计量和混合。各种纤维性和非纤维性配料组分连续地混合形成抄纸浆料。

根据特定系统的要求，其他一些工序也可作为浆料制备的一部分。例如，纸浆筛选和净化对某些高质量的配料可能是必须的。再生浆料制备系统的特种需要在第 14 章中介绍。

要注意的是，纸机白水和损纸处理系统有时作为浆料制备的组成部分。但这些系统最好在第 16 章中考虑，在那里更容易从整个纸机生产的角度，了解它们的作用和运行情况。

13.1 碎浆（分散作用）

碎浆（或浆化）是将干的被压紧的纸浆纤维分散成泥浆或悬浮液状。碎浆的程度可以是正好满足能够泵送悬浮液，或者它可充分满足完全分离和分散所有的纤维。在间歇式碎浆作用中，纤维解离一般在一个单一容器中完成。而连续式碎浆则常在碎浆机后使用补充的在线处理，以保证彻底的分散；用于该目的的典型装置称为高频疏解机。

不同纤维原料（例如原纤维浆、损纸浆、各种回收浆等）有不同的碎浆动力需要。在原纤维浆中，未漂硫酸盐木浆不容易再浆化和解离是有名的，特别是在低水分含量贮存后。通常，损纸浆很容易碎浆，除非在用湿强度助剂时。所遇到的最大的问题是在利用废纸和其他回收纤维时（见第 14 章）。一般地说，在最高实际浓度（直到 18%）和在 50℃ 以上温度，动力需要最小。

适合于间歇或连续作业的常用碎浆机形式示于图 13-1。这种碎浆机结构使用一个以上的回转元件，以提

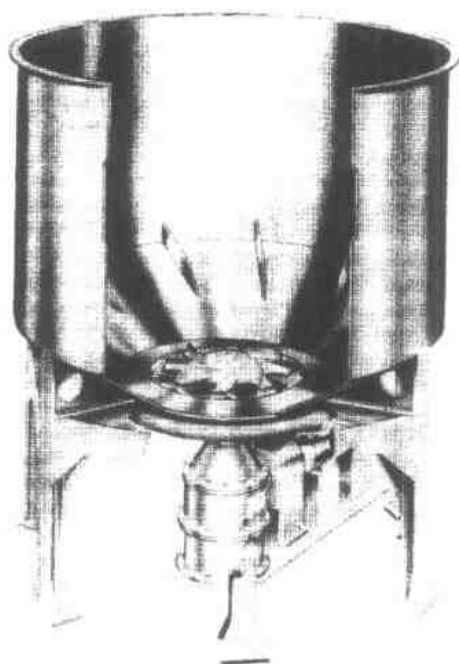


图 13-1 Black Clawson 水力碎浆机是一种立式碎浆机，配有底部转子，从孔板抽液。根据纤维解离的需要，孔眼可小至 3mm

供分离纤维束所需要的湍动力和循环作用,它们的上部是敞口的,以便装入浆包或浆板而又没有堵塞的危险。有某个制造商现在修改了传统的圆形碎浆机槽,使得一边成为平形的,有些老碎浆机则用一个挡浆插板加以改造;这种所谓的 D 形槽,据称改进了浸没和循环作用。

除了改变槽形外,在转子结构方面近几年来也有长足发展,以允许在浓度 15%~18% 的范围内进行碎浆。随着浓度的提高,由于纤维与纤维的摩擦大大增强而改进了纤维的离解作用,同时能耗则显著下降。新型圆锥形转子伸进槽内。在高浓状况下,与转子相应的适当规格的槽,以及导叶的数量和位置,在产生涌浪作用方面都是很重要的。高浓碎浆机的通用结构示于图 13-2。

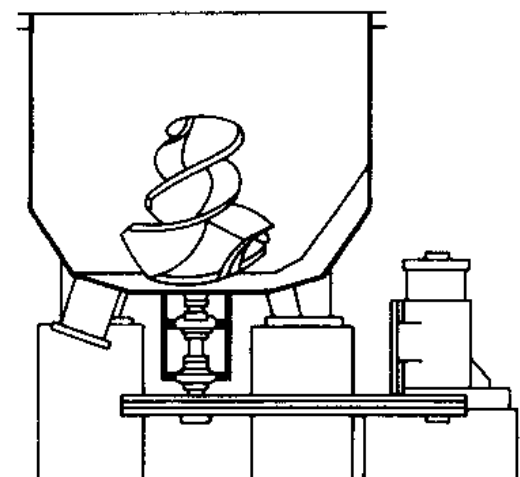


图 13-2 Helico 高浓碎浆机 (Lodding Thermo Electron 公司的分公司)

浆包(或浆板)最容易从大致与槽顶相平的楼面送入碎浆机中。碎浆机以前的组合浆包运输系统,示于图 13-3。

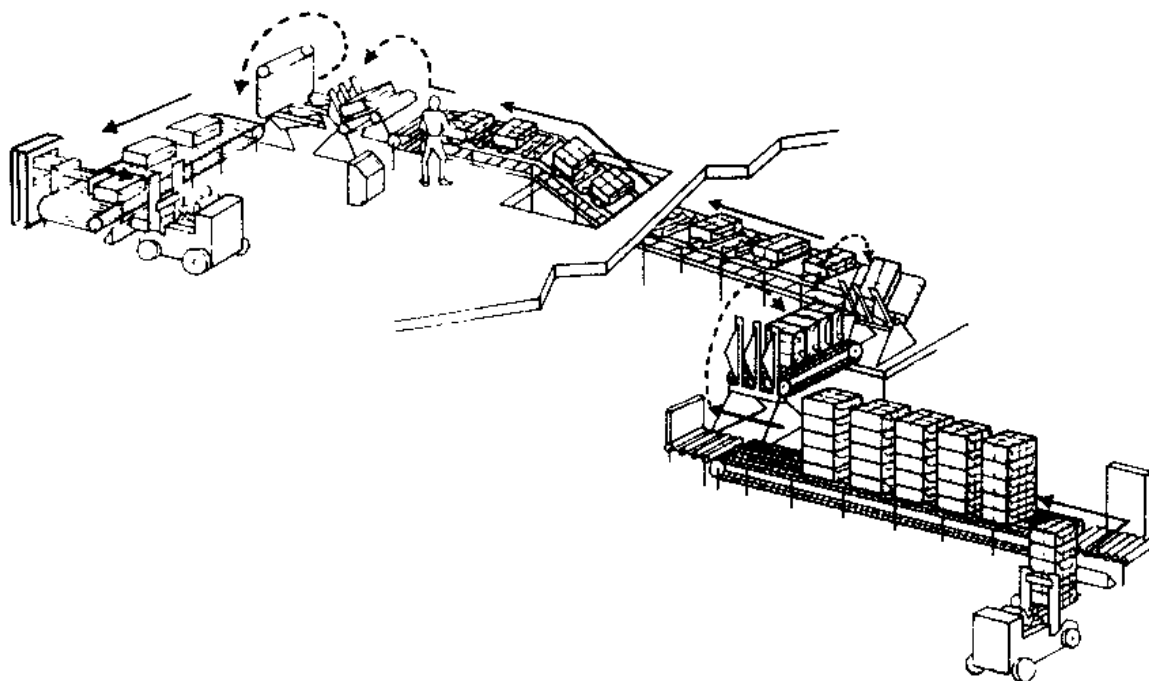


图 13-3 用于浆包的双层输送、拆垛和拆铁线系统

一台进行在线分散的典型高频疏解机,示于图 13-4 和 13-5。浆料悬浮液(4.5%浓度以下)被互相啮合的转子与定子环的缝隙所分流。浆料因此重复地被加速和减速,并由于剧烈的速度差而产生流体剪切作用。该作用力松动了纤维间的结合键并减少进入纤维配料的“碎片”。

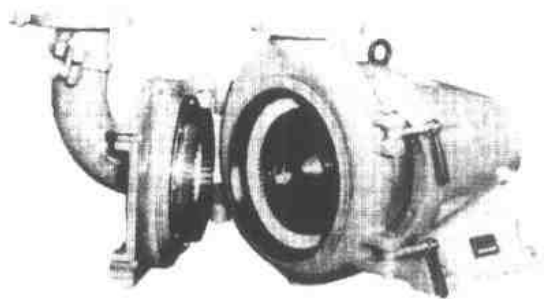


图 13-4 典型的高频疏解机(Escher Wyss 公司)

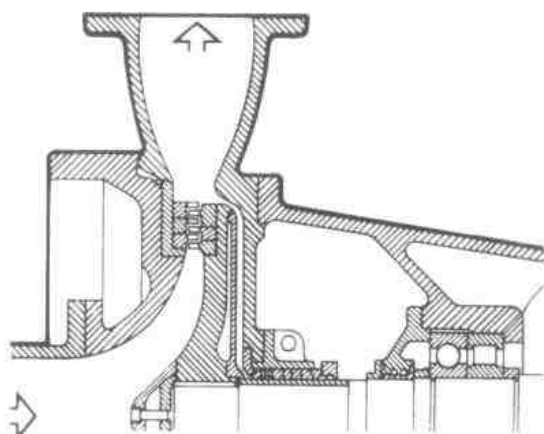


图 13-5 Escher Wyss 高频疏解机的操作原理

13.2 精磨

打浆和精磨常可交叉使用。更精确地说，打浆是指在循环的纤维悬浮液中，与固定座相对的回转刀片的机械作用，此时各个纤维的方向与刀片相垂直。这种间歇式作业的例子为传统的荷兰式打浆机，它仍在若干老纸厂中使用，特别适用于那些很难处理的诸如黄麻、大麻、亚麻和棉花等配料（见图 13-6）。精磨是指在连续的锥形或圆盘型精磨机中实行的机械作用，此时纤维平行地移动到刀片的交接点。总的说，其任务就是“发展”或改变纸浆纤维，使其处于特定抄纸配料所需的最佳状态。

虽然精磨与纤维离解常看作独立的工序，实际上可能有很多重叠。有些纤维的机械改性发生在碎浆和分散作业期间。同样，精磨机也起到有效纤维离解装置的作用。

精磨的机理

精磨的机理示于图 13-7。机械力与水力共同作用以改变纤维的品性。通过发生在刀片之间和精磨机沟纹与通道中的滚压、扭曲与拉伸作用，将剪应力施加在纤维上。正常的剪应力（或拉伸力或压缩力）是借助混合、压溃和推/拉作用施加在汇集于飞刀与底刀表面之间的纤维聚集块上。

精磨对各个纤维的重要效应，归纳在表 13-1 中。最初的作用是部分地除去初生壁。虽然初生壁是透水的，但不润胀且阻止纤维的润胀。除去了 P 层（初生壁），暴露出次生壁，使水被吸进分子结构中。内部结构的最终疏松化促进了纤维润胀，并使纤维柔软易弯。这个所谓“内带化”，一般认为是在脱除初生壁后最重要的主效应。进一步的（外）带化作用包括纤维的松动和细小的微纤丝在纤维表面的隆起，结

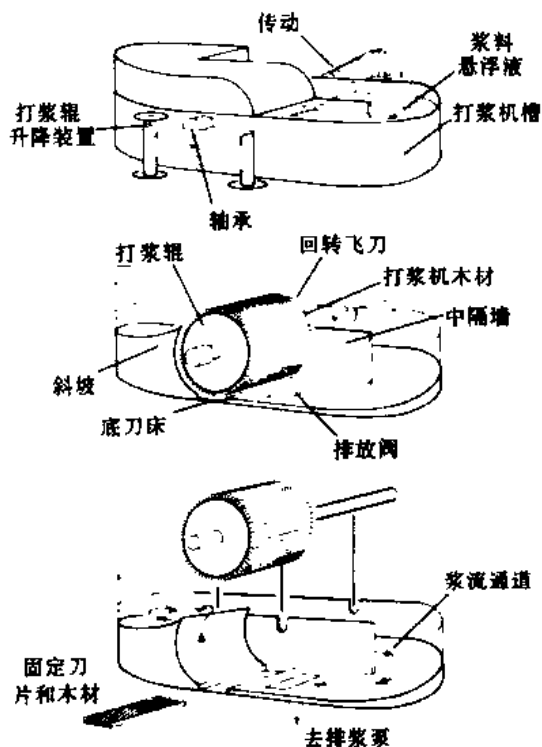


图 13-6 打浆机装置简图

果使打浆纤维的表面积有极大增加。随着纤维变得更为柔软,细胞壁压入胞腔,从而形成适应性很大的带状体。精磨对纸页结构的效应,可参见图 13-8 和图 13-9。帚化作用示于图 13-10 中。

表 13-1 精磨时发生了什么

主效应	
• 脱除初生壁,形成纤维碎片或“细小纤维”	
• 水渗入细胞壁(称为“压溃”和“润胀”)	
• 若干纤维内的键断裂;被水—纤维氢键所取代(水化)	
• 纤维柔软性增加	
• 外部帚化和分层	
• 纤维切短	
副效应	
• 细胞壁破裂	
• 纤维拉伸和(或)压缩	
• 表面半纤维素部分溶解成“凝胶体”	
• 纤维伸直(在低浓下)	
• 纤维扭曲(在高浓下)	

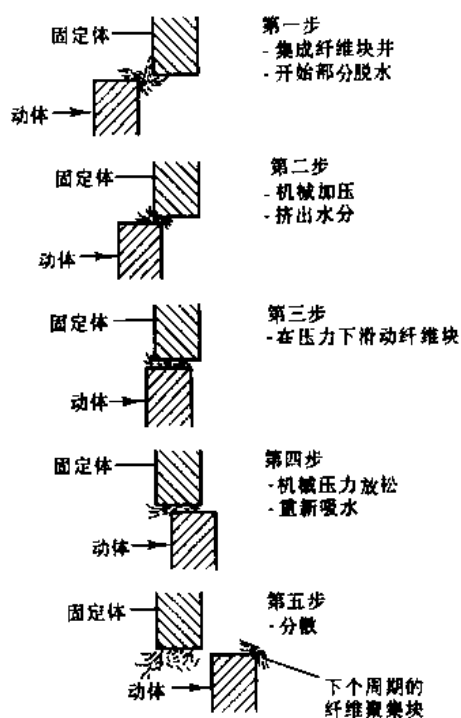


图 13-7 精磨机理的展示

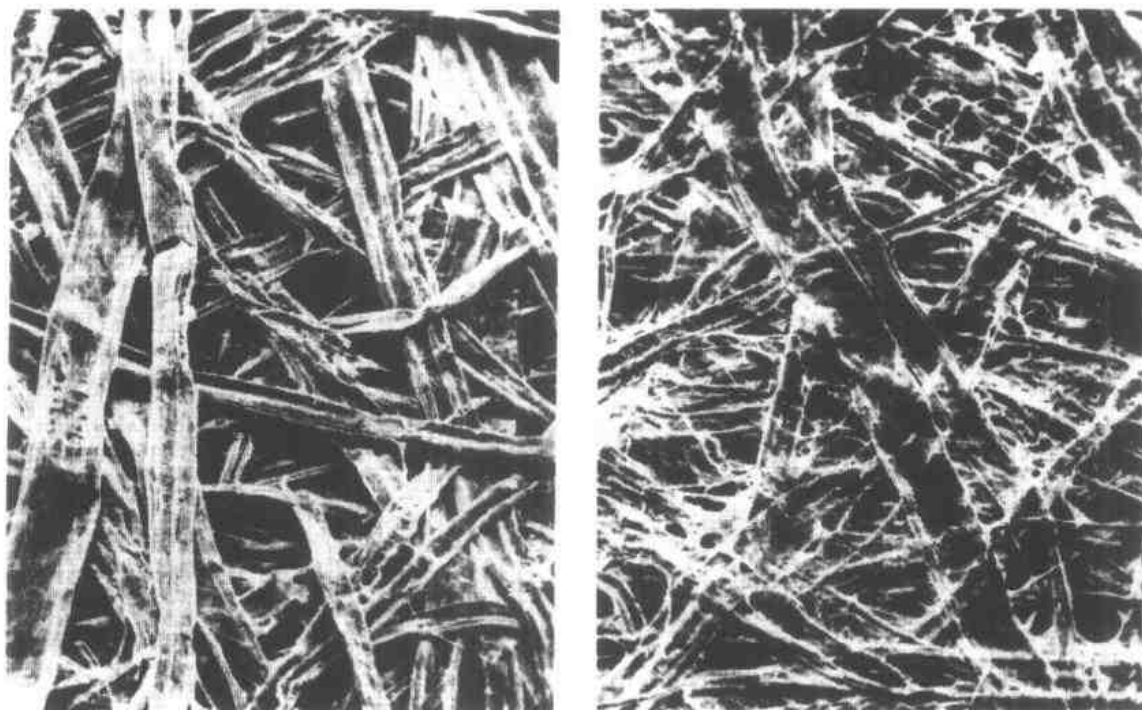


图 13-8 硫酸盐软木浆精磨前后的显微照片 (造纸科技学院提供)

精磨期间常发生某种程度的纤维切短,主要是由于刀片交接点的剪切作用。纤维切短作用由于影响到脱水减慢和降低强度,一般是不希望有的。但在有些用途中,切短作用有助于

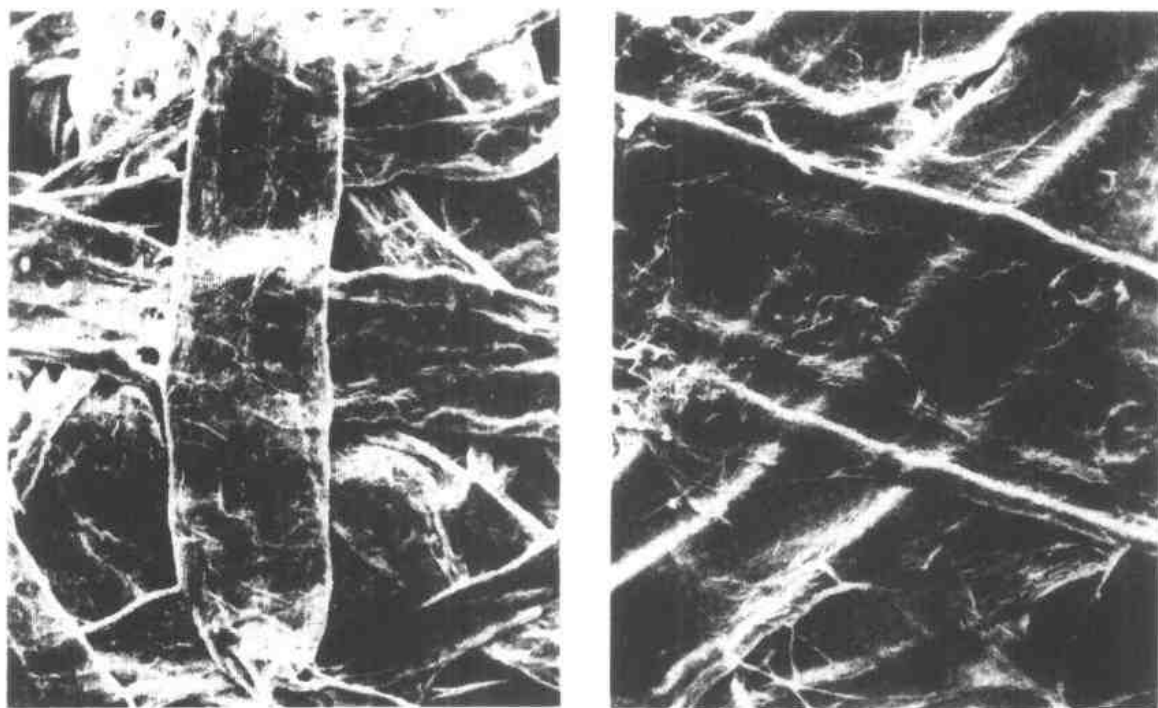


图 13-9 南方松早材纤维精磨前后的电子扫描显微照片 (造纸科技学院提供)

从长纤维纸浆配料获得良好的纸页匀度, 或有助于在纸机上控制纸页的脱水。精磨也产生出包括损纸纤维碎片和纤维细胞壁脱落微粒的细小纤维。

精磨的一个明显效应是纸浆滤水或脱水性能有很大改变。随着精磨的进行纸浆滤水度迅速降低, 这主要是由于细小纤维浓度增加所致。

系统分析

在分析精磨机运行性能时, 有两个因素是最重要的: 即施加于单位浆重的有效能量 (净单位能耗), 以及在该能量下的通过量 (精磨力度) (refining intensity)。第一个因素可以精确地测量出来, 但更为困难的是估计纤维受到的精磨力度有多大。“比边缘负荷 (specific edge load)”的术语广泛地应用于此目的⁽¹⁾, 其计算公式为每单位时间内的净用能量 (净用电量) 除以浆料相接触的刀片边缘的总长度。

问题在于, 能量实际上是以三个阶段和三个不同途径转移到纤维上的⁽²⁾。在“边缘—边缘”阶段, 被捕集在刀片边缘之间的一部分纤维受到强烈的击打。在“边缘—表面”阶段, 转



图 13-10 精磨后纤维的电子扫描显微照片显示出微纤丝的解离 (造纸科技学院提供)

子刀片与固定刀片的前缘将纤维压向平直的刀片表面,它们的相对位移给纤维以磨刷处理。最后,在前缘达到对立面刀片的后缘以后,在“表面—表面”阶段,纤维受到进一步的滑移作用,直至转子刀片的后缘已离开固定刀片的后缘。

在三个阶段之间的能耗量分配,以及精磨的效果,取决于刀片的锐利度、刀片和沟槽的宽度、以及刀片表面的粗糙度。如果能量主要消耗在第一阶段,纤维将受到显著的切断作用。但如果绝大多数能量消耗在第二和第三阶段,则纤维将更显示帚化作用。

精磨机所施加的净能耗量是,测得的制动刹车能量与卸荷(或无负荷)能量之差。某些能量只是在浆流下转动精磨机所必需的;这随盘磨机型式而变,对某些结构的精磨机是很重要的。

显然,纸浆所吸收的能量是影响纸浆性能变化的主要因素,但做功时的状况也是个重要的决定因素。低浓磨浆将形成较多的帚化、较少的切断、以及纤维性能的更充分发展。换言之,渐进、逐步地将机械能作用到纤维上,可获得最优化处理,同等数量的能量,很突然和集中地作用到纤维上,其结果正好相反。可惜的是,在工厂规模要获得最佳的低力度精磨,常需要代价高昂地安装大量的精磨机。因此为了控制精磨机的投资和运行费用,纤维性能的发展,必须作适当的折衷平衡。因其较大的精磨力度,工厂精磨机不可能重复实验室打浆机那样理想的打浆作用。

影响精磨的变数

影响精磨的一些变数,与纤维、设备、和工艺条件有关,示于表 13-2 中。不同的纸浆以不同方式与一定的精磨处理相对应。一般地说,硫酸盐浆比亚硫酸盐浆更难于精磨(即需要更多的能量)。烧碱法浆特别容易精磨。未漂浆比相应的漂白浆更难于精磨,因木素不吸收水分,木素含量较高的浆对打浆更不敏感,因而纤维也没有“润胀”得那么多(比较图 13-11 与图 13-12)。高得率机械浆和化机浆,由于其纤维挺度高造成严重的切断作用,所以纸厂一般是不打浆的。有时为了控制纸机滤水,对机械浆实行较轻微的“后精磨”,但不是为了发展纤维性能的正常目的。

表 13-2

影响精磨的变数

原料	工艺变数
<ul style="list-style-type: none"> 纤维形态(来源于材种衍生而来) 制浆方法 制浆的程度 漂白处理 前处理(例如干燥、机械处理) 纤维长度分布 纤维粗度 早晚材比 化学成分(木素、纤维素、半纤维素) 	<ul style="list-style-type: none"> 有没有挡料板 磨刀材质 磨损型式 刀片角度 转速(圆周速度)
设备特征	工艺变数
<ul style="list-style-type: none"> 刀片规格与形状 刀片与沟槽面积 沟槽深度 	<ul style="list-style-type: none"> 温度 pH 浓度 助剂 预处理 生产量 所用能量

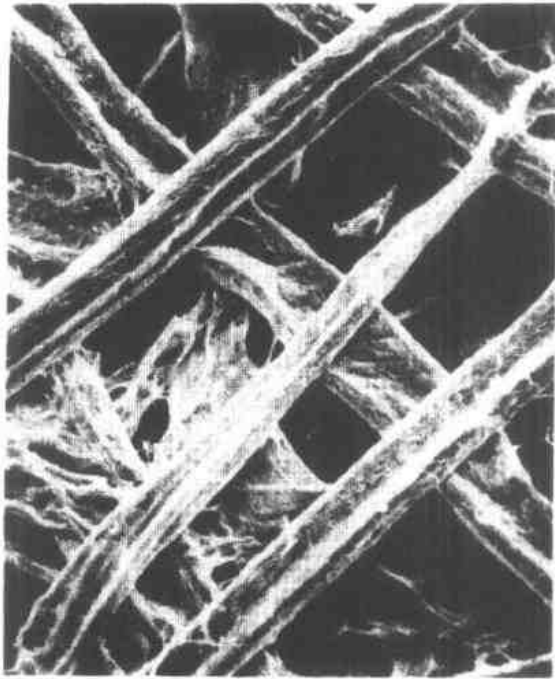


图 13-11 经过精磨的高得率软木浆
(造纸科技学院提供)



图 13-12 经过精磨的低得率软木浆
(造纸科技学院提供)

一般地说,半纤维素含量很高的纸浆易于精磨,且能很好回应机械能量的输入。半纤维素对水的很大亲和力,促进了润胀和帚化。换言之, α -纤维素含量高的溶解浆,精磨较慢,且形成强度较低的纸页。

经过干燥的化学浆(包括二次纤维),吸收水分不那么迅速,且精磨要比从未经过干燥的纸浆难得多。过度干燥或干燥不均的纸浆,如果不给予充分的再湿时间,由于其不均匀的强度发展,可能导致成纸强度的降低。

混有二次纤维的纸浆配料的“可精磨性”,主要与其化学浆含量有关。化学纤维的比例愈高,其通过精磨发展纸浆性能的潜力也愈大。

高 pH 值(大于 7)的浆,由于纤维素在碱性介质中有较大润胀性,有助于更快速地精磨。通常浓度高时,由于增加了纤维间的接触,对精磨有良好的响应,而且切断作用也较少(图 13-13)。

精磨机的型式

用于浆料制备的连续式精磨机的两种主要型式是:圆盘式精磨机和锥形精磨机。锥形精磨机可进一步分成低角度型(Jordan 型)和高角度型(Claflin 型)两种。锥形精磨机列示于图 13-14 至图 13-16。

在锥形精磨机中,转动的机芯(转子)与其外壳(定子)均在长度方向固定有金属刀片。纤维流动与刀片相平行。转子的位置决定刀片的间隙,并在固定浆料通过量的情况下,控制

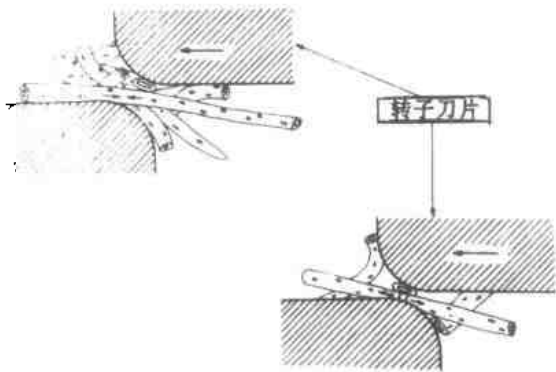


图 13-13 列示出精磨时,纤维与纤维和纤维与金属接触程度上浓度的效应

对纤维的作功量。

圆盘式精磨机是新近发展起来的, 并已使用了多种设计形式和磨片花纹。有三种基本形式:

- 转动磨片对着固定磨片。
- 两个相对转动的磨片 (图 13-17)。
- 在两个固定磨片之间转动的双面磨片 (图 13-18)。

对最后一种形式, 浆流可接着作并联分布 (双流型) 或串联分布 (单流型)。两种浆流方案简示于图 13-19 中 (另外的圆盘精磨机设计, 示于 5.3 节)。

圆盘精磨机比锥形精磨机有更显著的优点, 但令人不解的是, 为什么仍有若干造纸工作者更喜欢用锥形精磨机。其主要优点是:

- 空载能耗低, 这个优点在能源价格较高时更显得重要。
- 可使用较高的浆料浓度。
- 可施加较高的荷载与较大的转速。
- 精磨机磨片设计有较大的可变性。
- 磨损形式的自我校正, 即与锥形精磨机相反,

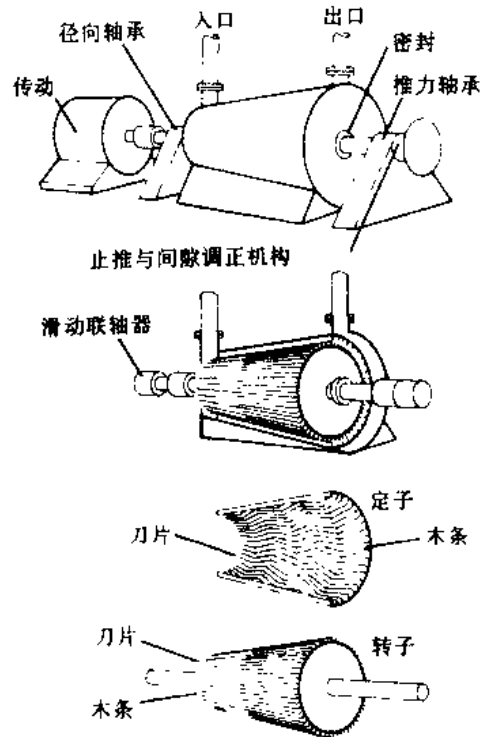


图 13-14 Jordan 锥形精磨机简图

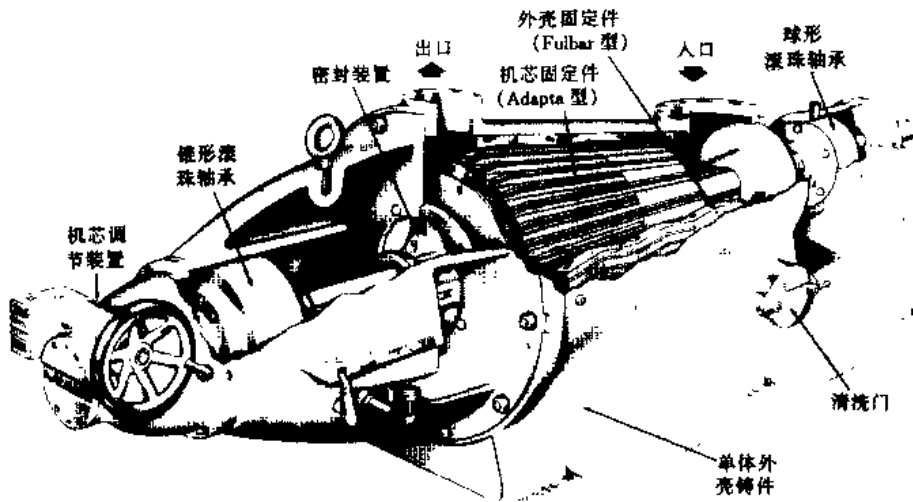


图 13-15 Jordan 精磨机 (Beloit 公司 Jones 分公司)

高点与低点可协调配合 (参见图 13-20)

- 设计更紧凑, 占地面积较小。
- 每吨产品的投资较少。

但必须注意的是, 对同样操作条件, 锥形和圆盘型精磨机之间, 它们在发展纤维强度的能力方面差别很小。

也许最通行的浆料制备用精磨机, 是配有夹在两个定盘之间的双面转动圆盘的精磨机

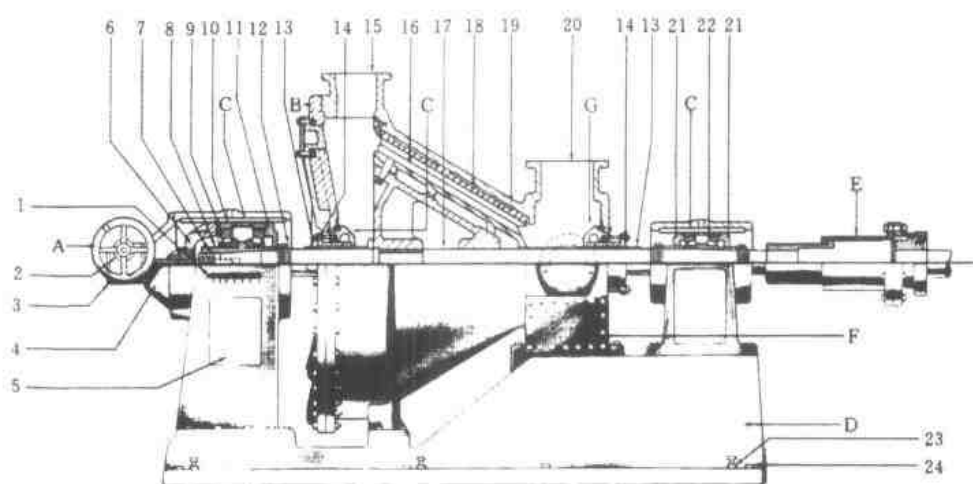


图 13-16 Claflin 精磨机 (Bolton-Emerson 公司)

A—机芯进给微调装置 B—大头端部 C—轴承装置 D—底座 E—联轴器 F—桶砂器 G—填料箱
 1—机芯指示表 2—刻度盘和锁定螺丝 3—动力油缸 4—止推轴承架 5—托架盖 6—止推轴承盖
 7—锁紧螺母与洗涤器 8—止推轴承套 9—密封环 10—止推轴承外壳 11—止推轴承端盖 12—压
 紧螺母 13—填料箱轴套 14—填料压盖 15—浆料出口 16—机芯镶条 17—轴 18—壳体镶条
 19—壳体外盖 20—浆料入口 21—径向轴承端盖 22—径向轴承外盖 23—水平起重器 24—固定螺栓

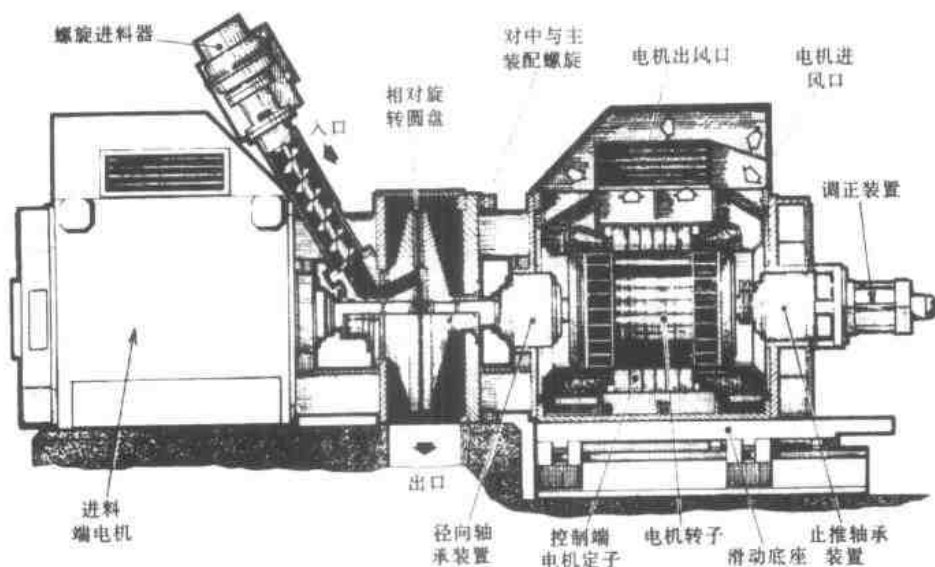


图 13-17 有两个相对转动的圆盘的圆盘式精磨机 (Beloit 公司 Jones 分公司)

(简称双盘磨——译者注)。由于两面压力相等，在两个不转动端头之间的转动圆盘可自我对中。该“浮动圆盘”原理保证精磨的能量在两面之间等量分配，且所发生的推力负荷（即轴的轴线方向中的相对作用力）在两个方向也相等，这样就不需要止推轴承了。

在圆盘式精磨机中，在固定通过量时磨片表面之间的间隙，决定对纸浆的作功量。必须小心地控制间隙以保持荷载，同时避免磨片碰撞。测量和控制间隙的方法很多，由设备制造商决定。

圆盘转速较高时，在同样通过量下可提供较低的精磨力度，从而使纤维的强度发展较好。

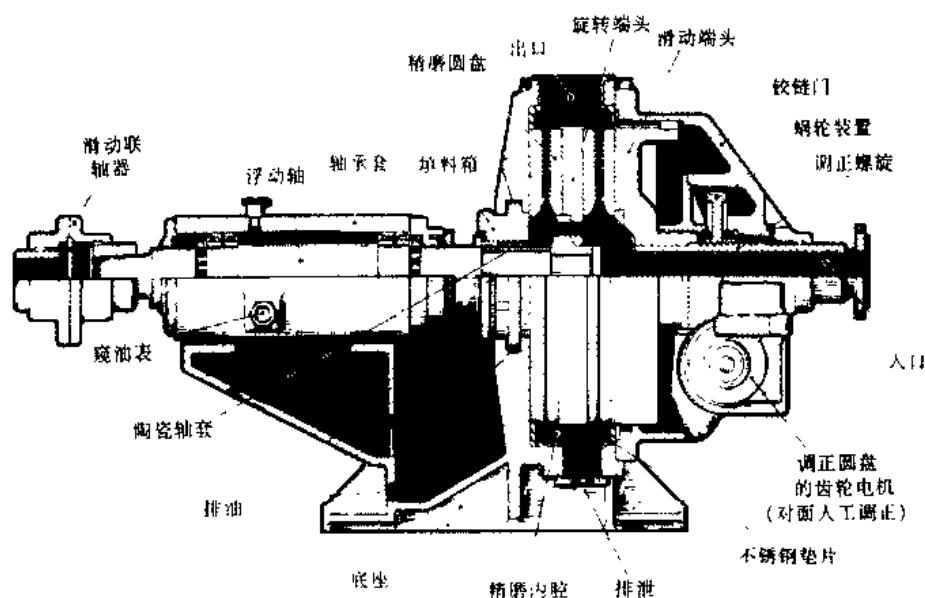


图 13-18 带双面旋转圆盘（两个定盘之间）并以“双流”结构运行的圆盘式精磨机

但较高的转速由于空载能耗随转速的立方而增加，浪费了很多能量。绝大多数空载能量浪费在圆盘速度最大的周边上。典型的圆盘式精磨机运行最高的圆周速度为 $1410 \sim 1710 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 范围，精磨机的最大转速取决于圆盘直径。为了打破直径对生产能力的制约，一家制造商（Sunds）已在圆盘的周边上又增加一个锥形精磨区，它们称之为锥形圆盘精磨机，据称是市场

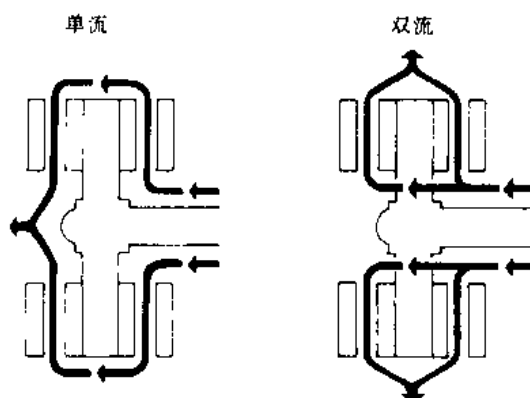


图 13-19 双面旋转圆盘的精磨机的流动模式方案

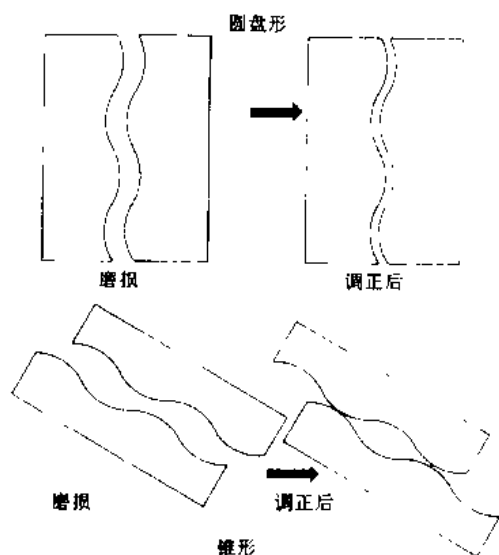


图 13-20 圆盘与锥形精磨机的磨纹。精磨表面之间的间隙一般变化在 $0.1 \sim 1.0 \text{ mm}$ 之间，取决于浆料浓度与通过量

上最大的精磨机。

圆盘精磨机的磨片

圆盘精磨机的磨片由铸造在底板上的各种齿条所组成。这些齿条的结构是完成特定精磨效应的重要因素。图 13-21 上所示的磨片磨纹是常用于浆料制备的典型磨纹。较粗的磨纹给予高强度的作用力，它更适合于切断纤维；较细的磨纹更适合于强度的发展^[1]。

根据特定的需要，有很多合金用于制造精磨机磨片。虽然纸浆质量也是一个考虑因素，但磨片材质的选择通常主要地是根据成本效率。

迄今,使用很稀有的金属(如钛)或 jet age 塑料已证明是不经济的。也许最广泛应用的材料是镍硬(一种抗磨的镍铬,白口铸铁)。镍硬材料的一个优点是精磨机的磨齿在磨损过程中,其前沿仍保持相当锐利,这是可延长寿命的一个因素。但镍硬材料不适合于腐蚀性浆料,此时也许要用更贵重的合金。

精磨时所发生的磨片磨损是正常摩擦的结果,如在浆料中存在外来杂质将加速磨损。磨片寿命也直接与浆料的腐蚀性有关。一个磨片已到了寿命的后期,则纤维质量或通过量将降低到合格水平以下。造纸厂采取措施提供干净的浆料,以及减少腐蚀性的精磨条件,将保证有更长的磨片寿命。

图 13-22 列示了大量纸产品的各种精磨动力需要,图表显示了圆盘精磨机在能耗方面所具有的优势。

精磨对纸张性能的影响

图 13-23 示出几种常用纸页强度性能在浆料精磨时所发生的典型变化。精磨的实际响应程度取决于纸浆纤维型式、所用设备以及操作条件。由于各个纤维之间的摩擦作用,撕裂强度总是降低的;其他强度参数(例如耐破强度、抗折叠强度)则因改进了纤维间的结合力而增加(如图 13-24 所示)。纸浆浆料本身滤水性能变得更差,结果是纸页变得更为密实(降低松厚度),以及更低的透气性、不透明度和尺寸稳定性。

实验室手抄纸试验的结果通常随打浆时间、打浆动力或游离度(滤水度)而变。但作为比较的目的,评价某个跟另一相关性能成函数关系的重要性能是很有好处的。这个技术对其性能随精磨程度而呈多方向变化时是非常有效的。最常见的成对性能的例子,是撕裂度跟抗张强度或耐破度成函数关系。其他有用的相互关系有,跟纸页密实度成函数关系的撕裂度以及跟抗张强度成函数关系的不透明度。

如能在两个极端强度水平实行精磨或打浆,则在从温和至剧烈的全范围打浆作用下,可形成表征纸浆抄纸潜在性能的两组曲线(见图 13-25)。

精磨过程的控制

在多数精磨系统中,通常有两个特定的任务:

- 最佳的强度发展。
- 控制浆料滤水度和纸页匀度。

为易于控制以及将能耗降至最低,这两项任务最好分两段加以完成。

在第一个精磨段,为了最佳的强度发展,给原纤维以低力度处理。该段一般在固定的单

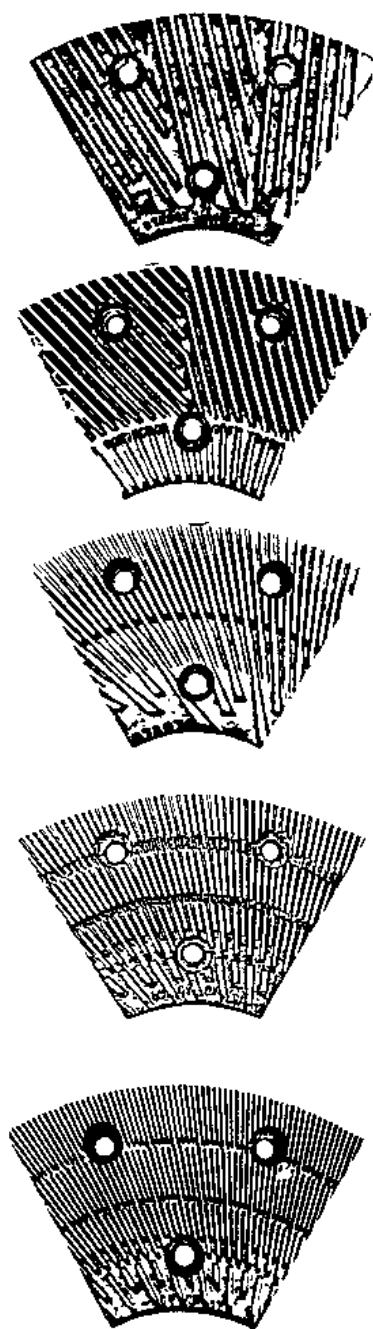


图 13-21 常用圆盘精磨机磨片的磨纹

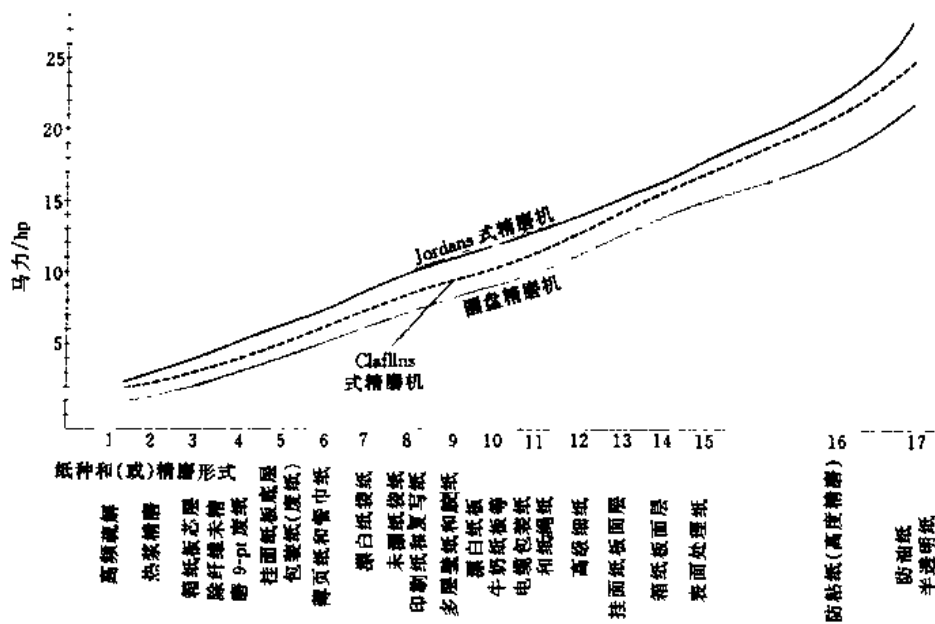


图 13-22 不同纸种和精磨形式的相关精磨动力需要 (Gilbert)

注: 1hp = 746W

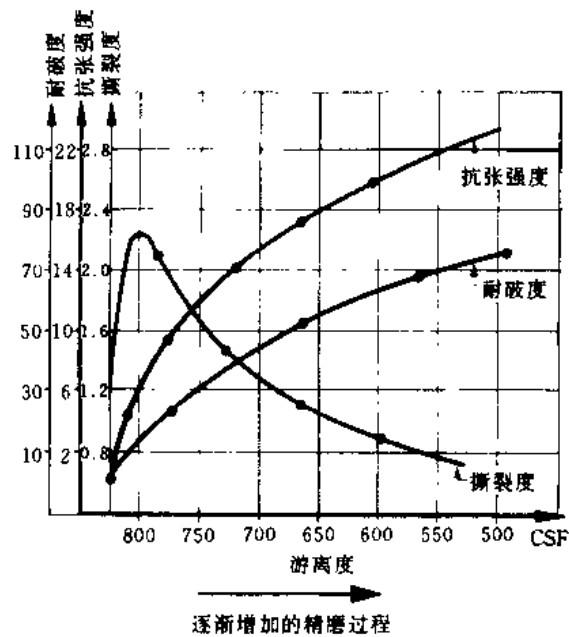


图 13 23 在精磨期间典型的强度发展

位产品能耗下进行。单位能量控制依赖于浓度与流量变送器输入的信号，再加上进一步从电表输入的信号。为了使能耗降到最低，精磨机的规格和速度不要大于处理预定通过量所需的规格和速度。

第二精磨段中，全部纸浆配料（即经预精磨的原纤维、二次纤维、损纸等）在紧接纸机前部处进行精磨，此时以高强度精磨和较低单位能耗即可获得最佳效果。该段可利用一个传感器控制恒定游离度，以提供精磨负荷的反馈控制。作为例子，其系统示于图 13-26。利用一

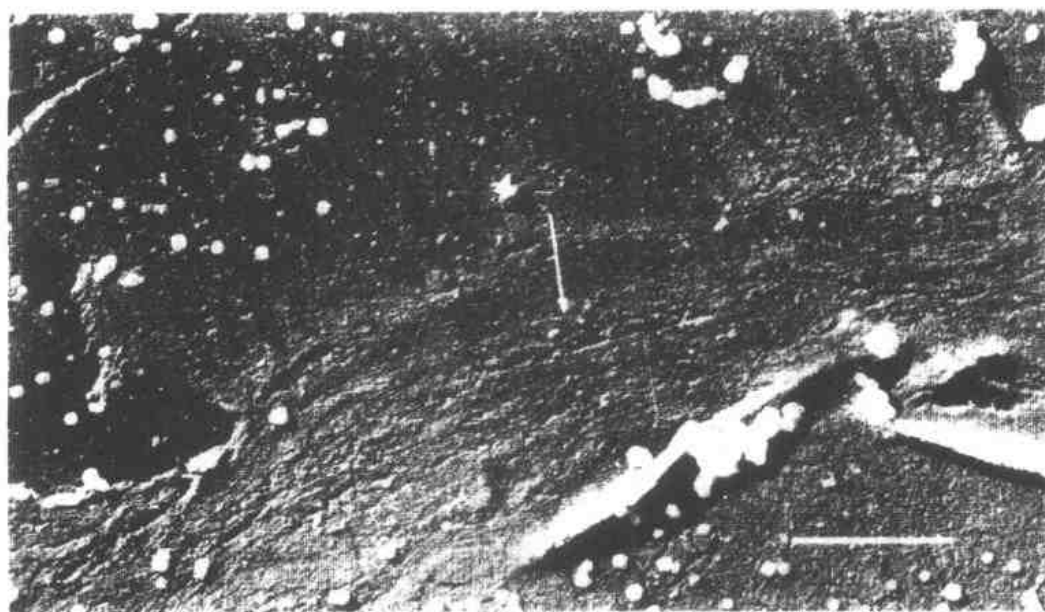


图 13-24 电子扫描显微照片显示出适度精磨的辐射松
硫酸盐浆纤维之间的结合面积（箭头）
注意结合面积的波浪形外观和表面半纤维素的凝胶体
（黑色是由于着色所造成。所示标志相当于 $1\mu\text{m}$ ）

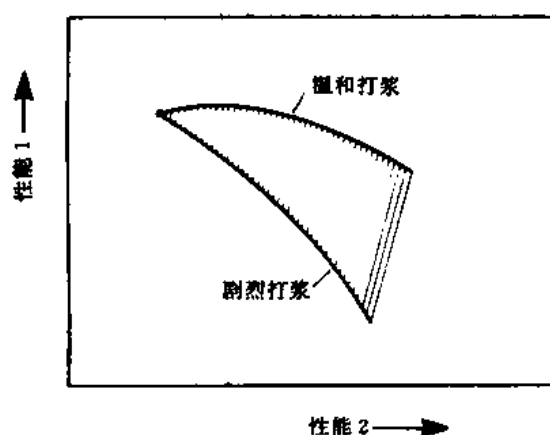


图 13-25 跟性能 1 与 2 相
对应的纸浆抄纸潜能

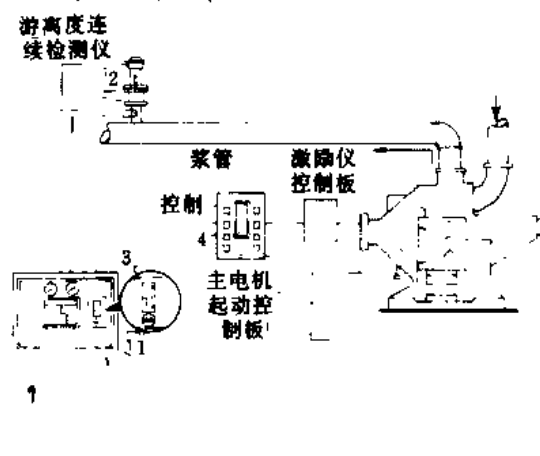


图 13-26 利用一个连续滤水度传感器的典型精磨机
控制系统。将设定点 1 置入控制装置。检测仪 2 测定实
际滤水度；与设定点比较对控制器 3 产生一个误差信号。
然后控制器 4 改变精磨机电机负荷控制器上的设定点

个尽可能靠近精磨机的在线仪表，测定滤水时间或湿度渗透性（Wetness Permeability），通常可获得最佳效果⁽⁴⁾。

13.3 配料的计量与混合

各种配料组分的计量与混合，从如不这样做可能会有多少危害的观点看，也许是浆料制备系统中最不受重视的工序。但必须强调的是，配料组分的波动将造成在成形网上浆料的不稳定状况、随后纸机加工工序湿纸幅特性的波动和产品的可变性。

纸浆与助剂精确配比成均一的混合液，取决于每种配料的浓度和流量控制。当从高浓贮浆槽供应纸浆配料时，为达到所希望的控制水平，必须有一系列受控的稀释步骤和混合阶段。纸浆配料一般在浓度为2.8%~3.2%范围，计量进入纸机浆槽（machine stock chest）。通常高频疏解和精磨作业改而在中浓状况下进行。

虽然在小型特定的抄纸工序，仍在使用间歇的计量和混合系统，但总的倾向是趋于连续和自动化系统。这些系统依靠新型浓度控制回路和电磁流量计以调节控制阀。有时，先得将各种纸浆和损纸浆混合，然后加入矿物质填料和化学品。基本控制原则是配料量要与整个流量要求成比例。

图13-27示出了一个中等复杂的典型配浆系统，系统内，各种纸浆和损纸浆跟染料、淀粉和其他助剂一起送到混合槽。这些组分在混合槽内用搅拌器混合以保证配比均一性。混合后的配料然后送去纸机浆槽。虽在图上没有表明，但必须注意，个别控制每个浆流的浓度和浓度的“精调”，通常是在从混合槽至纸机浆槽的混合浆流上进行的。

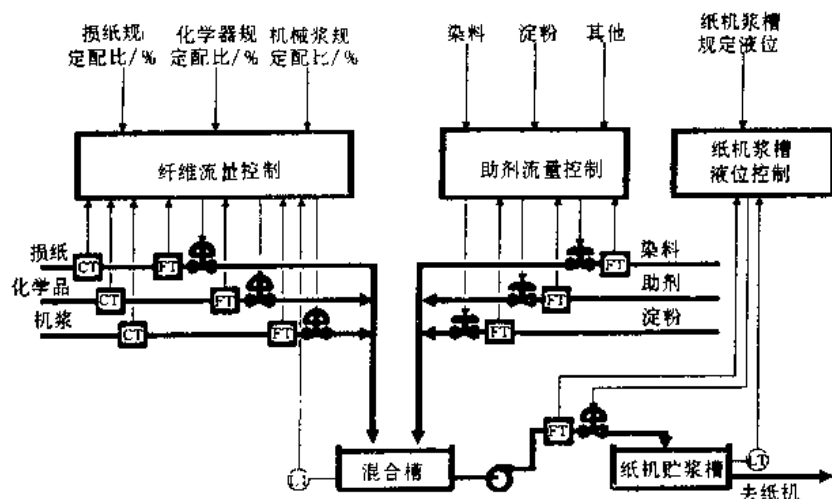


图13-27 典型的配浆系统

对比较简单的（如新闻纸）配浆，常可省去混合槽，在纸机浆槽中进行最终混合。

纸机浆槽一般包括了最终的配料混合，虽然有时在紧靠流浆箱前面还加入少量助剂。纸机浆槽的浆料（浓度2.6%~2.8%）连续地送到一个恒压槽（调浆箱），然后通过一个控制阀（称为“定量阀”）进入纸机上浆系统。此时浆料与来自网下坑的循环白水混合，使浓度急剧下降到流浆箱所需的水平（一般为1%以下）。

参考文献

- (1) STEVENS, W. V. Refiner Analysis Offers Improved System Efficiency, Horsepower Usage *Pulp & Paper* (March 1981)
- (2) LUMIAINEN, J. Refining Intensity at Low Consistency-Critical Factors *Paper Technology* (November 1991)
- (3) SHARPE, P. E. and RODARMEL, J. L. Low Consistency Refiner Plate Design and Selection *P & P Canada* 89: 2: T57 (February 1988)
- (4) SHAW, P. Do You Drive Your CAR, or Run Your Refiner Blindfolded? *Paper Technology* (June 1991)

第 14 章 二次纤维

二次纤维是指任何已经历制造过程且又被回用作另一制成品原料的纤维性材料。严格地说，纸机干燥部损纸、完成间纸边、以及再碎浆纸卷都可算作为二次纤维；但实际上内部回用不作为二次纤维利用的组成部分。

目前二次纤维利用在北美增长的步伐很快。其推动力是政府立法，它试图通过责令在某种纸（特别是新闻纸）中须含最低二次纤维水平的法令，以减少废物填埋地负荷和减少对森林的依赖。传统上，废纸的供应是市场推动型的；但近来强调“源头分离”，即纸和其他可回收物常常在不考虑市场需求的情况下进行收集。在过去已发生严重供需不平衡的同时，目前某些废纸（例旧新闻纸）又因受老标准影响而过剩量很大。现在似乎还很新的废纸回收能力，都是 20 世纪 90 年代前期为了返回到需求拉动型市场而投入生产的。与此同时，过剩的废纸以低廉价格在海外市场出售。

使用二次纤维的生产厂通常位于人口稠密地区，那里有供应可靠的废纸，可更方便地进行收集和运输。一般说距工厂所在地 80km 半径以外收集原料是不经济的，因为这种松散的废纸包运输费用很高。但如有很大的价格差时，从较远地方运送废纸还是值得的。

废纸种类

美国商业部规定了 5 个基本种类，下面这些定义为造纸工业所普遍接受：

- 混合废纸类。各种质量的废纸，包括在这类中的有办公废纸、箱纸板切纸边、和工厂包装纸。

- 旧报纸类（ONP）。

- 旧瓦楞箱纸类（OCC）。

- 纸浆代用品类。主要包括没有印刷过的纸和纸板，它们没有被涂布或任何掺杂；在这类中的有表格卡纸、各种白色或半漂白纸条、纸边。

- 高级脱墨纸类

造纸研究所（Paper Stock Institute）又进一步将这些等级细分成 80 个品种。

纸浆代用品类的价格最高，因为它们可以直接用来抄造某个产品（这类纸浆代用品往往可全部回收利用）。其他的废纸必须在二次纤维制浆系统中净化以除去污染物质。对这些夹杂物（诸如塑料薄膜、粘合剂、胶料、蜡等）进行分离和（或）分散，对多层纸板内层或瓦楞

芯纸来说已足够了。但对印刷纸类必须更优先地除去污染物质（包括脱墨）以制取合格的造纸浆。

1977 年和 1988 年废纸类的相应用量示于表 14-1。OCC 的数量约占总量的 50%。日前在北美有约占总量 75% 的二次纤维用于生产多层纸板和瓦楞芯纸，但在下个 10 年，脱墨并用于新闻纸和其他印刷纸类的废纸比例将日渐增加。

表 14-1 相应的废纸用量（API 数据）

	1977	1988
混合废纸	19%	11%
ONP	16%	16%
OCC	43%	49%
纸浆代用品	15%	15%
高级脱墨纸	7%	9%

14.1 废纸收购

为使废纸作为二次纤维获得有效利用,必须将收集的原料加以拣选,并分类成适当的质量等级。可在收集点进行拣选、或直接由收集机构负责。如有几个收集点一般由收购商或代理人承担收集、拣选、打包和供货到厂的任务。正常情况下,使用废纸的工厂不管进厂废纸的拣选工作,只监督原料,保证其最低的质量标准。

废纸来源一般可分为前消费者或后消费者。前消费者是指加工厂和印刷厂,其废纸为剔出纸辊、切边、等外品或过剩出版物形式,一般比较干净并经过很好拣选。从后消费者来的废纸不大受欢迎,因为它拣选很差,含很多污染物质。

全世界的废纸价格主要取决于需求,在某种程度上也取决于获得供应的容易程度⁽¹⁾。其相互关系很难定量化,随废纸等级而定。当来货紧缺时,工厂一般准备支付更高的价格寻找另外的供应商。废纸价格带有高度的周期性,主要特征是不稳定。除了最高质量等级外,废纸价格近年来由于供应过剩而处于低迷状态。在过去几年,美国的废纸回收方法特别是 ONP 和 OCC 已有显著改变。大约 60% 的 ONP 来自“路边收集”和其他城市回收计划。市政当局(不是废纸收购商)控制着进入纸厂的废纸流量。在许多情况下,市政当局绕过废纸收购商进行拣选、打包和直接将 ONP 出售给纸厂。

OCC 也有类似的情况,大约有 60% 的回收原料现在是直接从连锁店运到纸厂的,许多纸厂都订有购买 OCC 的长期合同。市政当局的“路边收集”可能证明是另一个重要的 OCC 来源。

原料的贮存和搬运

废纸包一般是借汽车或火车发运到纸厂的,并在卸车时进行检查以保证它们符合纸厂的要求。良好的入库做法是按等级和具体供货者进行分类。这样,任何质量问题可追溯到二次纤维的源头。如果可能,应避免室外堆存,因为曝晒在日光下以及大气侵蚀作用,使纸浆性能遭到破坏。而且,较“新鲜”的二次纤维比陈旧的更易于脱墨。通常要求贮存设施实行“先进—先出”的原则。

14.2 循环回用的程度

有两个主要指标(即回收率和利用率)用以比较各个国家地区的回用水平⁽²⁾。回收率是回收废纸回用量与纸张消费量的比较,利用率是指生产纸和纸板时所用二次纤维量与总纤维用量的比较。美国的回收率近几年来已创新纪录,于 1990 年达到 33%。与之相比,有些没有森林资源的国家和地区(如日本、台湾),回收率约 50%。欧洲平均回收率约 30%,加拿大约 25%。

二次纤维的利用率在美国约 25%,上升缓慢。在日本约 50%,在欧洲的平均利用率约 40%。居于领先地位的纸张出口国,利用率显然较低,例如,瑞典和加拿大约 25%。

一般认为总利用率 50% 代表了最高利用率。在每次循环回用中,纤维物质与强度均有严重损失(有些研究者认为,为在实际回用中不使纤维质量损失太大,约可循环 4 次)。在持续保持 50% 利用率的情况下,显然不管怎样已经有一半的再循环纤维,先前经历了一次以上的循环。

多次再循环作业对纤维品质和纸页性能的影响已在实验室作了某种程度的研究。这些研究大多是近 10 年从 20 世纪 60 年代晚期到 20 世纪 70 年代晚期进行的⁽³⁾。但尚不清楚的是,实验室对在实际纸张使用和再循环中所发生的纤维损伤是否已模拟得很好。图 14-1 归纳了对

一个从未干燥过的已精磨到加拿大游离度 285mL 的未漂软木硫酸盐浆所研究的结果⁽¹⁾。经历 4 次再循环后, 细小纤维含量从 16% 增加到 35%, 并使浆料滤水度严重下降。估计该手抄纸试样在每次再循环后, 将细小纤维除去以维持相同的游离度水平。如所预期, 纤维表现出其强度和结合潜能均逐渐下降; 开始阶段撕裂度的增加是由于干燥对纤维挺度所产生的效应。

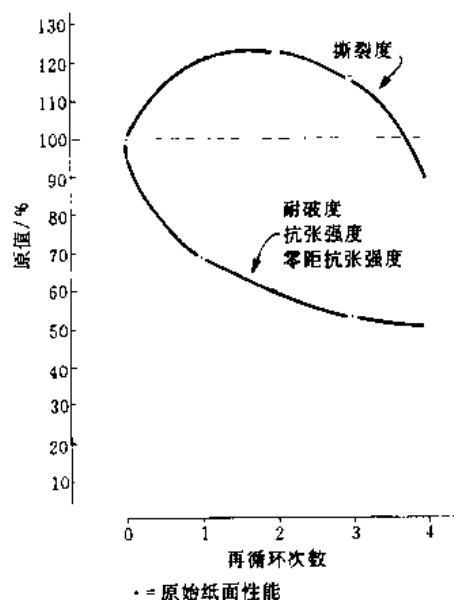


图 14-1 多次再循环对未漂硫酸盐手抄浆片的影响

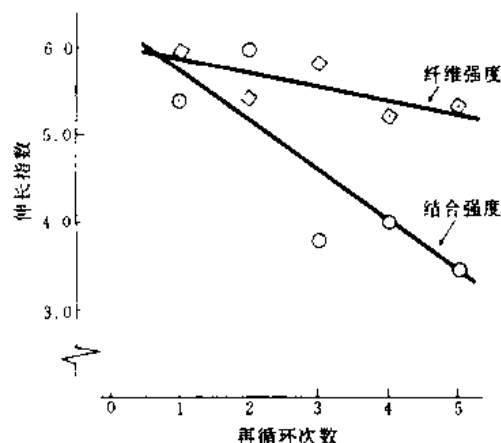


图 14-2 多次循环对新闻纸纤维强度和结合强度的影响

图 14-2 列示了重复再循环的新闻纸对单个纤维强度和纤维间结合强度的相应影响。此时两个强度指标均有下降, 但纤维间结合力的损失显得更强烈一些。随着每次干燥和碎浆循环, 纤维柔韧性和渗水性变得更低, 因而不像原纤维那么合用。纤维表面半纤维素的累积性损失, 也对减少结合强度有影响。

应强调指出, 各类纤维对再循环的反应可能不同。对某个特定的纤维类型的研究发现不一定能应用于另一类纸浆上。

14.3 废纸的碎浆

将废纸包运送到碎浆机, 二次纤维被分散成湿浆悬浮液。根据抄纸的需要, 碎浆机也可使油墨与涂料粒子从纤维分离出来。必须控制温度、浓度、停留时间、和化学作用等变数以优化运行。

碎浆机工序的核心是碎浆机本身。最常见的、简示子图 14-3 的设计是带绞绳装置和重料捕集器的碎浆机, 通常操作浓度 5%~8%, 可以连续或间歇模式运行。绳子、铁丝和破布以“索条”形式连续从浆料中排出。起初少量“原始线

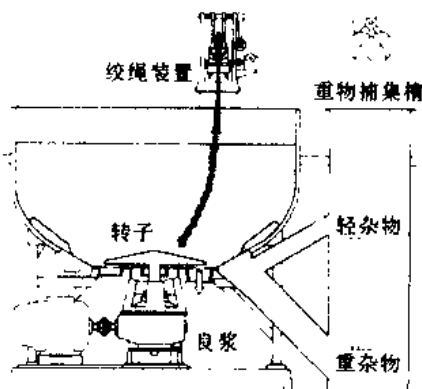


图 14-3 带绞绳装置和捕集槽的连续式碎浆机简图 (Thermo Electron 公司的 Lodding 分公司)

绳”在浆料中旋转而形成“绳索”，这以后该绳索本身逐渐积累加大。借离心力将重料抛入碎浆机边缘的凹槽；这些物料一般借斗式提升机或抓机从重料捕集槽排出。

高浓碎浆机（如 13.1 节）也应用于二次纤维制浆系统。其优点是杂物（如塑料和湿强纸碎片）形成较大规格以便于它们以后的除去；它也有较好的油墨去除能力，且对纤维的作用比较温和。这种形式的碎浆机必须间歇作业，但间歇时间一般短于低浓碎浆机。

简示于图 14-4 的圆筒式碎浆机由缓慢旋转的分段水平式圆筒所组成，圆筒向出口端倾斜。废纸包（它事先已除去铁线并破散开）和水在进料端进入，此时圆筒旋转产生翻滚作用，将废纸包碎解成单个纤维。浓度 15%~20% 的纸浆然后从碎浆区转入筛浆区，在这里用喷水管冲洗纤维使其通过筛孔板，杂物等留在圆筒内，并从端部被排走。虽然其一次性投资甚高，但圆筒式碎浆机所需动力少于其他的设计结构，且提供温和的碎浆作用。

利用高速破碎转子与低速圆筒旋转相结合的特殊结构碎浆机，示于图 14-5。Beronniere 碎浆机（也可称“水泥搅拌机”）适于在 35%~45% 浓度范围内运行。据说对极难处理的组分（包括湿强纸）很有效，且有可能用于在碎浆后需要高浓度的场合。

有许多碎浆系统还使用一种二次纤维在线碎浆装置，其中一种型式列示于图 14-6。除了更好的解离纤维外，这种设备还有可能进一步将重杂物和轻浮杂物分离开来。在线装置一般包括一个含有旋转碎浆元件的锥形外壳、良浆通过不锈钢孔板（其位置在转子的紧后面），并集中在一个环形室内。根据其设计或功能，二次纤维碎浆装置也可称为离解机（disperger）、纤维化机（fiberizer）或疏解机。

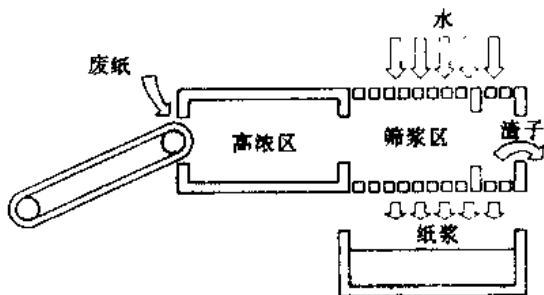


图 14-1 圆筒式碎浆机简图 (Ahlstrom 公司)

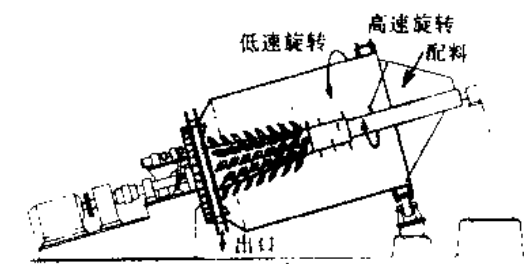


图 14-5 Beronniere 高浓碎浆机
(Lamort-Aikawa-lodding)

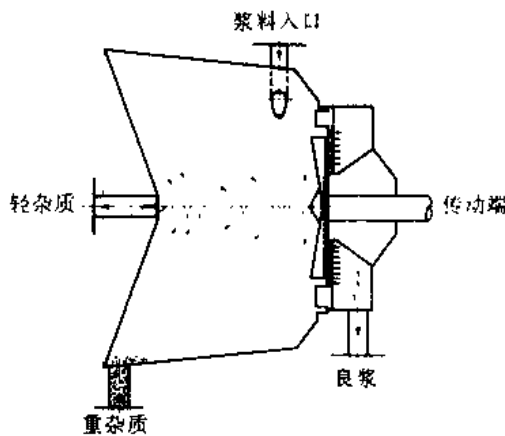


图 14-6 处理废纸的二次纤维碎浆机
(Escher-Wyss, Impco 公司)

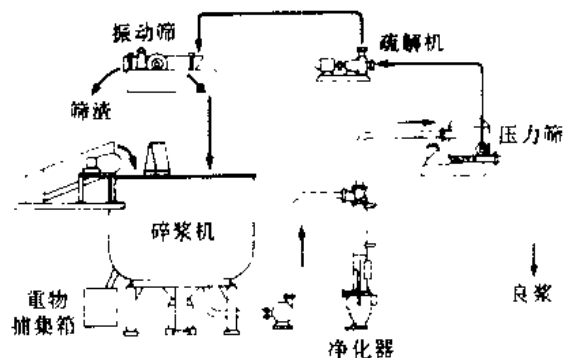


图 14-7 传统的再生纤维碎浆系统简图
(Thermo Electron 公司 Lodging 分公司)

除了设备设计与外加能量外,影响纤维解离的主要变数还有浆料温度与浓度。一般说,较高的温度有利于纤维解离,同时由于流动性增加而使能耗降低。浓度应该维持在仍能很好循环的最高水平。

图 14-7 示出较干净废纸浆料的基本碎浆系统。浆料穿过碎浆机的小孔抽液板,然后来到旋沉器以除去少量高比重杂质,最后通过一台细筛。筛渣去到疏解机或纤维化机以提供更彻底的纤维解离,浆料则通过二级筛选系统返回到碎浆机重新使用。

另一个使用侧装式碎浆机和二级碎浆装置的碎浆系统示于图 14-8。该系统的特点是有三段筛选,据说对含尘埃比例很高的废纸效果较好。

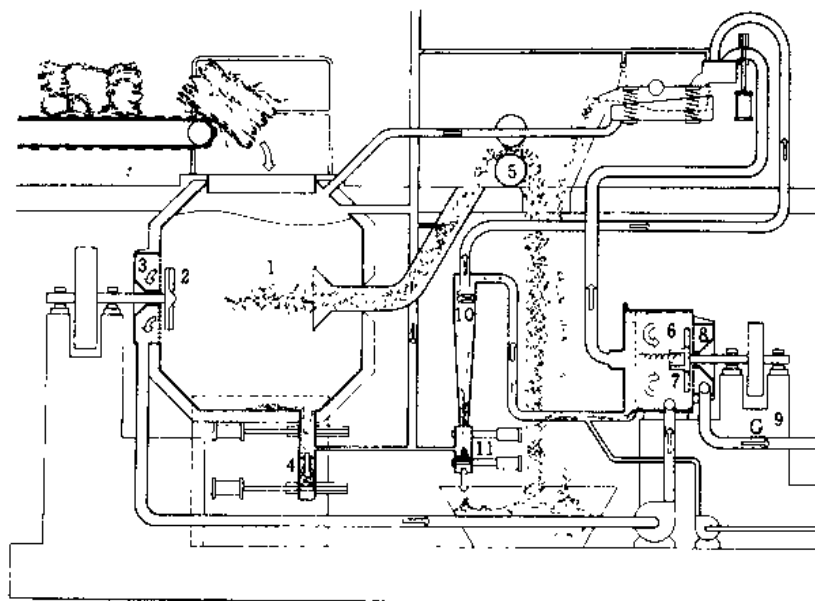


图 14-8 用于未经拣选的混合废纸的 Voith-Morden 系统功能示意图

1—碎浆机 2—推进器 3与8 筛板 4与11—污物捕集器 5—绞绳装置
6—二级碎浆装置 7 碎浆装置 9—轻物反向筛 10—前向式净化器

14.4 除去污染杂质

废纸处理浆料的主要目的是充分除去污染杂质和(或)提升原料等级,以使二次纤维适宜于制造出合乎技术要求的成品。所用的主要工序为筛选、净化、洗涤、漂白、分散和脱墨。

即使进厂的废纸执行很严格的质量标准,杂质不可能完全避免,而且必须在工艺系统中加以处理。所有外来组分,包括尘灰、石砂和过程铁质均视为杂质。某些更难处理的与产品有关连的杂质及其来源列示于表 14-2 中。实际上,诸如胶料、热熔物与乳胶等杂质都汇总为“胶粘物”或“发粘物”类。

表 14-2

废纸浆系统中的常见杂质

杂质型式	典型的来源	生产上的问题
热熔物	粘合剂和涂料	在传统系统中无法处理,弄脏设备;使产品有缺陷
聚苯乙烯泡沫塑料	用于包装中的垫块和小球	难以除去;粘到辊子上;使纸页形成小洞而报废
高密度塑料碎片(如聚苯乙烯)	发泡袋和透明包装物	碎成小块;难以除去;使纸页形成透明点
湿强度树脂	叠层纸产品、过程物料	使碎浆过程放慢;造成产品缺陷

续表

杂质型式	典型的来源	生产上的问题
胶乳	粘合剂和涂料；标签纸；橡胶带	难以除去，造成产品缺陷
压敏材料	纸辊接头；壳密封；其他	粘到织物和毯上；造成纸页缺陷和断纸
蜡	涂料和叠压片	难以分散；弄脏设备和使产品降级
沥青	叠层产品	去碎浆机中聚集，粘到织物上；使产品上有黑点
外来纤维	植物和合成绳索纤维	造成产品缺陷和断头

已经注意到，绝大多数一级碎浆设备以及二级在线碎浆机和（或）疏解机均有除去粗杂质的能力。还有若干增设所谓浮选净化系统以协助除去轻浮杂质。此外，所有系统均有合适的筛浆机以除去过大的碎片，并有离心分离器（前向和反向净化器）以除去全部细小杂质。每个二次纤维碎浆设备的主要供应商，都规定或推荐与它们自己的碎浆设备相配套并适应特定废纸组分需要的筛选和净化装置。

有时二次纤维碎浆系统中配置一个分散系统，以控制某种胶粘状况。其任务是全部分散纤维表面的污染杂质，从而免除其任何负效应。可使用热系统和冷系统，热系统通常可获得洁净的外观，但冷系统适用于多层纸板产品的中间层。图 14-9 示出一个适合于常压或带压作业的新型分散系统。在流程中，送入的稀浆被两段螺旋压榨机增浓到 35% 浓度；然后通过料塞螺旋（为了防止在带压作业时蒸汽反喷）进到立式撕碎机，将浆料撕碎，经撕碎的浆料在进入分散器以前在预热器中与蒸汽混合，分散器在操作中类似于圆盘式精磨机。

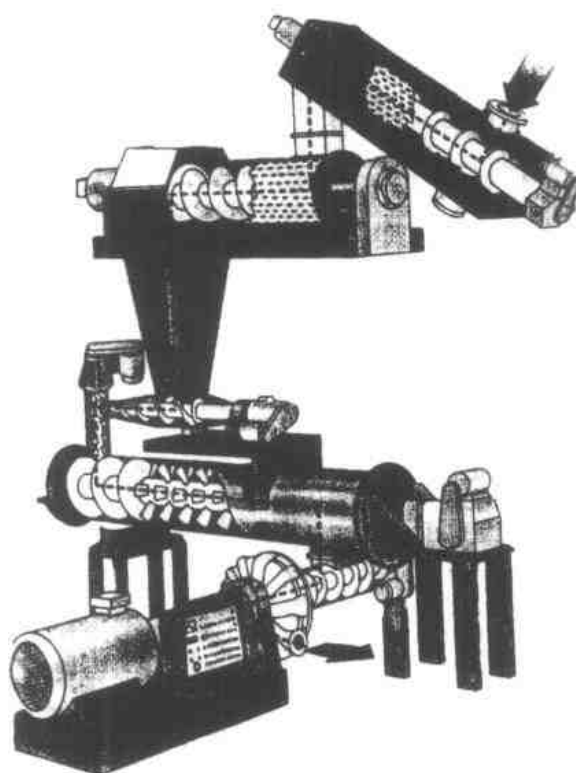


图 14-9 适合于常压或带压作业的分散系统
(Krima, Cellwood Machinery 公司)

还有相当复杂的系统用于除去更麻烦的杂质。这些处理包括漂白、脱墨（在下节讨论）、热熔物抽提和溶剂抽提。但有若干杂质（例如醋酸乙烯、聚丙烯）实际上抵制所有在废纸浆系统中处理它们的努力，它们最好从废纸配料组分中排除掉。

14.5 脱墨

纸浆纤维的脱墨基本上是一个洗涤或洁净的过程，在这里油墨被认为是尘污。在碎浆时应用化学品以及热和机械能，以便从纤维中脱除油墨粒子，并将它们分散在浆料悬浮液中。然后油墨粒子通过一系列洗涤或浮选措施或通过采取上述两种分离技术的混合方法，从所谓“灰色浆料”中被分离出来。

用于浆料脱墨的主要化学品是表面活性剂，它影响液体和固体的表面张力。这种表面活

性剂一般属于化学改性的矿物油即将亲水基加到分子结构上,使其部分地可溶解。在脱墨用途中,有三个特定形式的表面活性剂比较重要:

- 洗涤剂—从纤维除去油墨
- 分散剂—保持油墨粒子的分散状态并阻止其再沉积到纤维上
- 起泡剂—降低水的表面张力并促进泡沫形成

另外一些化学品诸如烧碱、硅酸钠和硼砂也用以增强表面活性化。

洗涤法

在洗涤法中,洗涤剂和分散剂应用于碎浆机中,便从纤维中除去油墨组分,将它们碎解并分散成非常细小的微粒。分散的油墨随后从纸浆分离出来,一般是利用多段稀释与增浓的洗涤流程。代表性的洗涤法流程示于图 14-10。

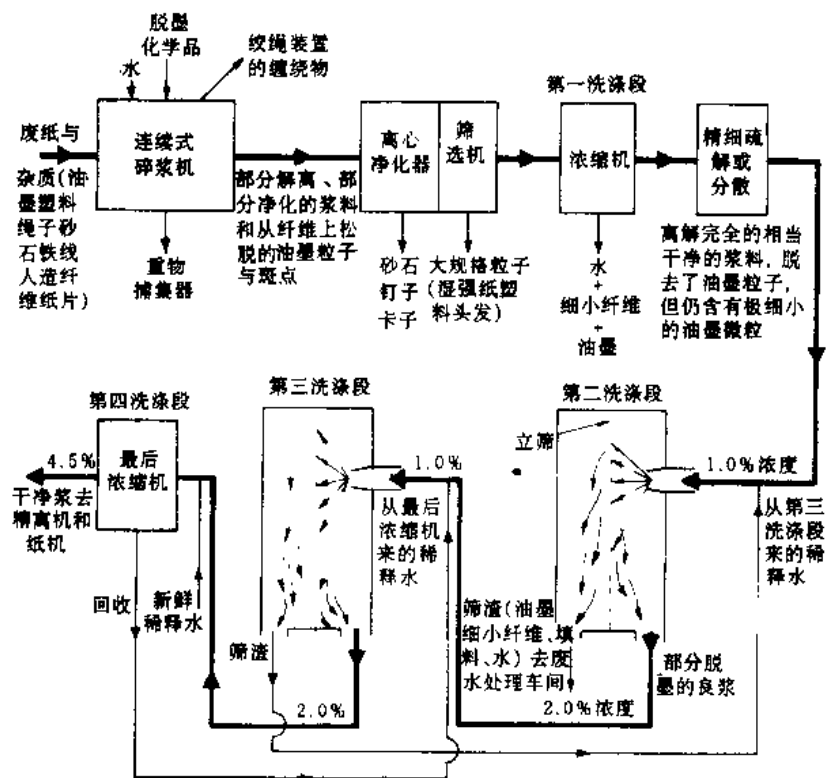


图 14-10 使用立筛 (Celleco 型) 和逆流洗涤水流程的脱墨洗涤车间

洗涤法中油墨的分离过程,是与由洗涤设备或筛浆机所完成的浆料增浓过程相对应的。如果油墨粒子非常小(小于 $15\mu\text{m}$),其被脱除的数量在理论上是与脱水的数量成正比的(图 14-11 和表 14-3)。但事实上纤维的网络作用像一个过滤器,降低了实际的脱除效率。

洗涤时的过滤器效率可利用低浓操作时和利用不形成浆层的增浓设备[如斜网浓缩机(图 14-12)、脱水机或 Celleco 筛选机]降至最低。入口浓度 1.0%~1.5% 比较理想,因为这时过滤器效率很低,但应用这种浓度范围的老式机器占地面积很大。因此与逆流洗涤相结合的,入口浓度 3% 左右的洗涤流程是最常用的,而更重要的是充分减小粒子的规格。纸浆只在最后一个洗涤段前面用澄清水稀释。

近几年开发的洗涤机械,诸如双压区浓缩机(图 14-13)可以单段浓缩大量的低浓浆料直至 8%~12% 浓度。这种形式的设备像短停留时间的纸机湿部那样运行。浆料在低浓状态下通

过流浆箱送上一条无端编织物将水脱除。

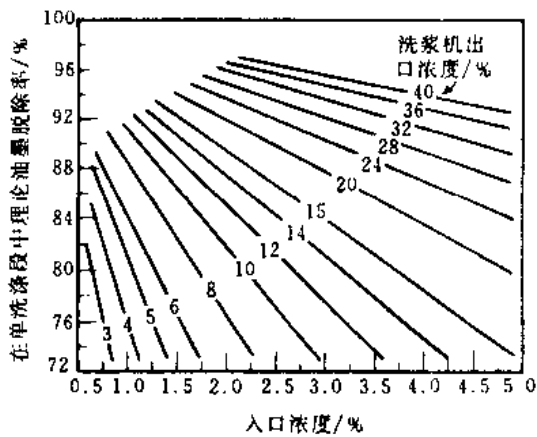


图 14-11 单洗涤段中理论油墨脱除率
与洗浆机出入口浓度的关系

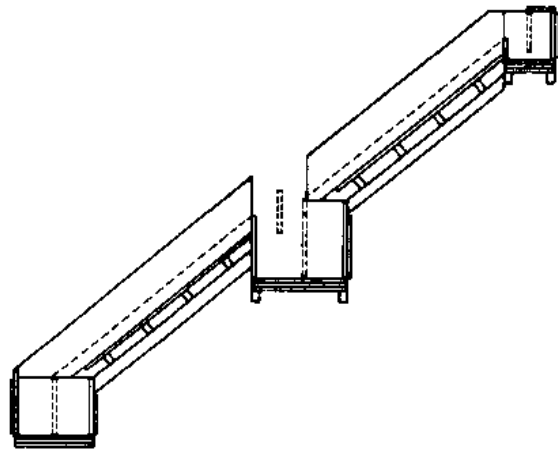


图 14-12 两段斜筛浓缩机

表 14-3

理论油墨脱除率

洗浆机	浓度/%		理论油墨脱除率/%		所需稀释水量/gal · (t 浆)
	入口	出口	一段	二段	
斜筛	0.8	3.0	74.0	98.2	26740
重力脱水机	0.9	6.0	85.5	99.7	23740
斜螺旋	3.0	10.0	72.2	97.8	6950
水平压榨机	4.0	28.0	89.2	99.9	5150

注: 1gal (美加仑) = 3.7854L。

浮选法

在浮选法中，化学品在碎浆期间加入，以促进油墨粒子的聚集和形成泡沫。随后灰浆（即混杂油墨粒子的灰色纸浆）在串联浮选器的低浓（一般 0.8%~1.2%）状态下充入空气，使油墨粒子的轻凝聚块上升到表面而将其撇去。一个典型的浮选法流程示于图 14-14。

浮选法的核心是浮选槽，它有几种结构形式（图 14-15 至图 14-17）。小气泡形式

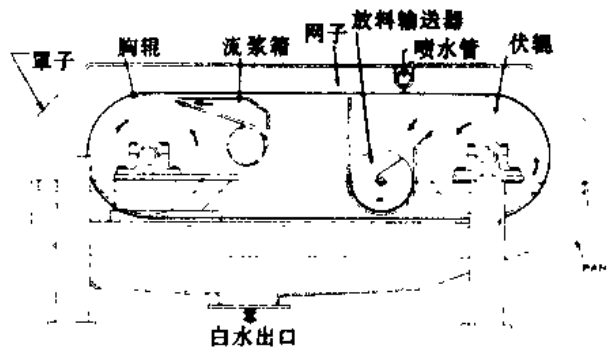


图 14-13 双压区浓缩机 (Black-Clawson 公司)

的空气在这里与灰浆混合。气泡粘附到油墨和污物粒子，使它们上升到浮选槽表面而被作为承载污物的浮渣层除去。一般为有效地除去油墨，需有 6~10 个串联的浮选槽，视浆料中污物含量而定。浮渣随后在第二段（通常为双浮选槽）进行净化，以回收好纤维。

当废纸的灰分含量较高时，浮选脱墨的效率亦较高，其原因尚不清楚。白土含量 8%~10% 被认为是最低要求，最好是 12%~14%⁽⁵⁾。通常可将废涂布纸与废纸混合以维持必需的含量水平。大约有 25%~30% 的白土与浮选槽渣子一起被除去。

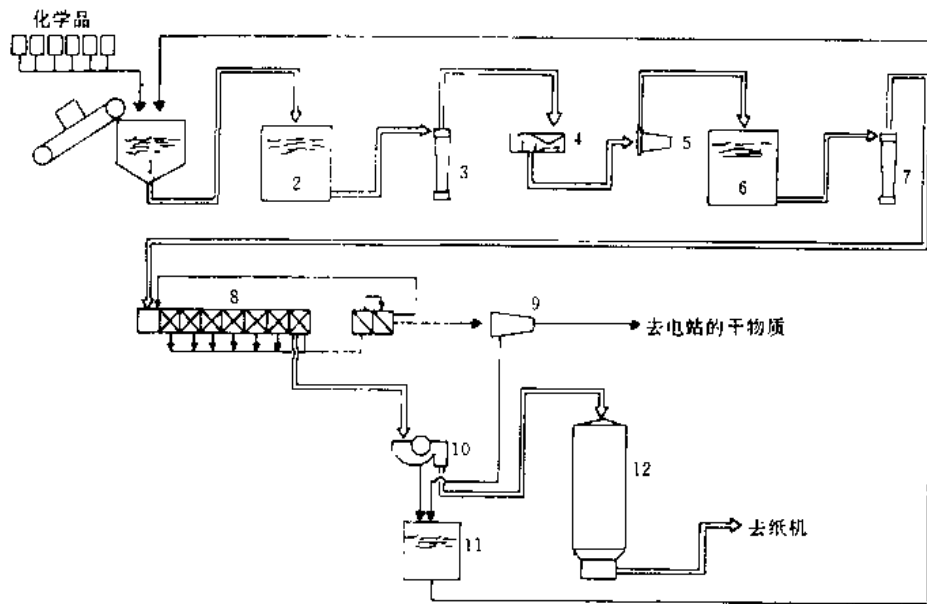


图 11-14 典型的浮选脱墨法

1—碎浆机 2—排出槽 3—浓浆净化器 4—立筛 5—疏解机 6—贮槽 7—中浓净化器
8—浮选器 9—离心脱水器 10—脱水机 11—滤液槽 12—贮浆槽

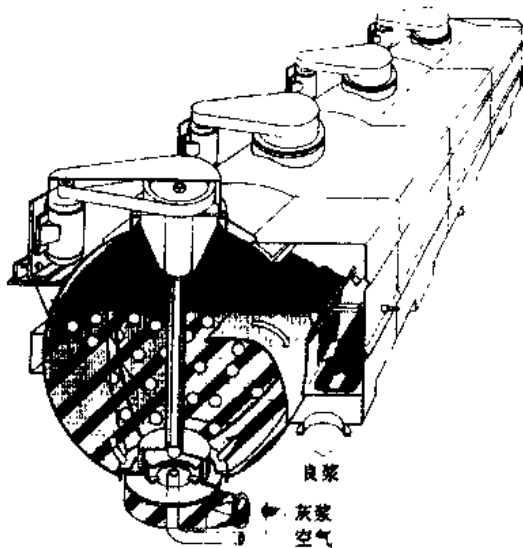


图 14-15 Voith 浮选槽

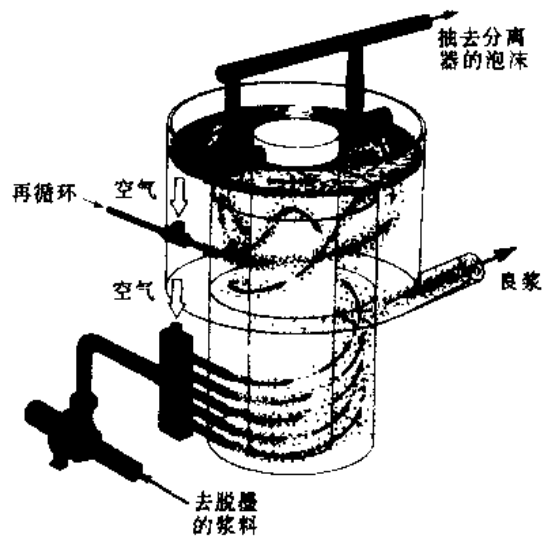


图 14-16 立式浮选槽（Thermo Electron 公司 Lodding 分公司）

浮选法一般在欧洲和日本较受欢迎。洗涤法则由于其低投资和低占地面积，传统上在北美比较普及。浮选法在脱除油墨粒子方面更具选择性，因而比洗涤系统有明显较高的效率。另一方面，洗涤法除去了高比例的细小纤维和填料以及油墨粒子，具有提高纸浆等级的作用。浮选脱墨后的浆料由于化学品集中在排出的浮渣中，所以洗涤工作量不大。浮选法的废水处理一般要比洗涤法简单得多。

被除去的油墨粒子规格，应是选择合适脱墨方法的主要基础。用洗涤法时在碎浆作业期间被顺利碎解的油墨，比其他方法更易被除去。

洗涤与浮选混合法

因为洗涤法与浮选法各有其优点，使用混合的观点很吸引人。但由于两者所循原理和所用化学品很不相同，其相容性方面的缺点是一大障碍。洗涤法的目的是将油墨碎解成 $15\mu\text{m}$ 以下粒子，使其转为亲水性，且保持细小的分散状态。而高效的浮选脱墨，油墨粒子必须形成疏水凝聚块，理想的规格为 $30\sim 60\mu\text{m}$ 。

由于开发出了一种称之为“集散剂 (displector)” (由分散剂和促集剂结合而成) 的新品类表面活性剂，工艺上不相容的问题已获得解决。这类化学品给油墨粒子提供充分的亲水性，以便在洗涤作业期间保持分散状态，而在油墨粒子与气泡之间保持足够的粘附力又有利于浮选⁽⁶⁾。

为了使操作有最大的灵活性以及改进二次纤维的质量，利用洗涤和浮选两项技术的新型综合系统是目前的最佳选择。一个典型的综合系统简示子图 14-18。在该两段系统中，洗涤的作用是除去细小纤维和填料以及很小的油墨粒子。洗涤由于从配料组分中除去若干阻碍油墨粒子粘附到气泡的污染杂质，看来还强化了后来的浮选段。这样，以后的浮选段就能有效处理更难分散的油墨，同时还除去其他的轻杂质。要注意，有些混合法设计者更喜欢首先进行浮选，然后进行洗涤。

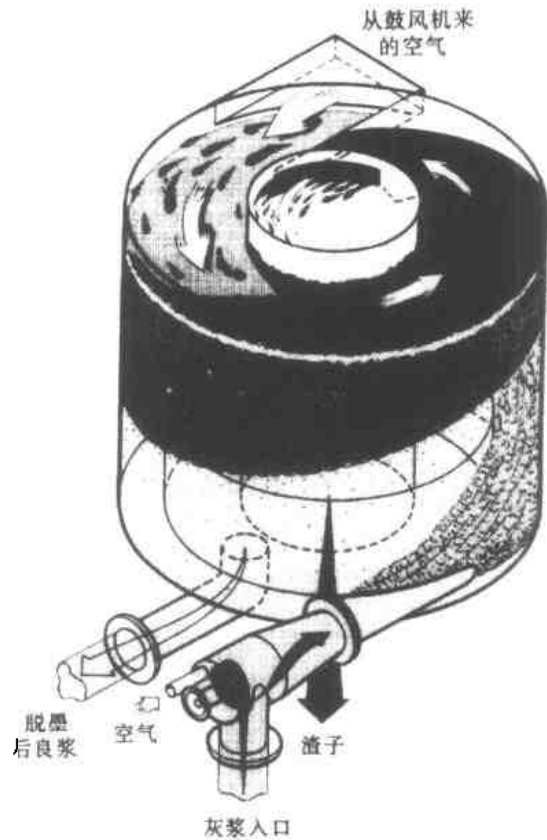


图 14-17 Swemac Hellberg 浮选器

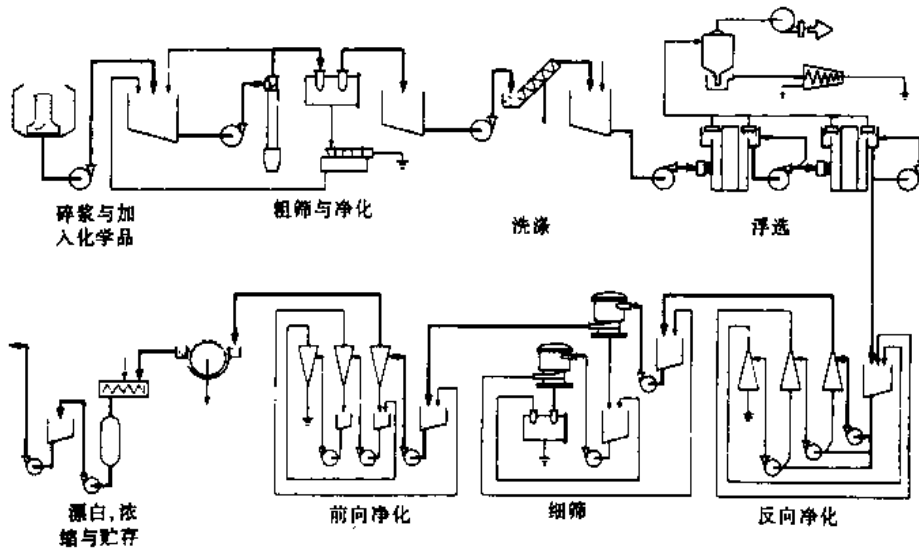


图 14-18 洗涤与浮选脱墨综合系统 (Thermo Electron 公司 Lodding 分公司)

14.6 二次纤维的利用

二次纤维与原纤维浆比较有明显不同的品质。因而造纸工作者应将二次纤维看作是一个具有单独的净化度、游离度、精磨程度等指标的特殊配料。

不管怎么处理,二次纤维浆总是含有若干对造纸作业有影响的残余杂质。蜡、粘结剂、油墨以及各种可溶性固形物都有在系统中积聚的趋势,并一路在纸机的各个点沉积和聚集。例如粘状物和热熔物倾向于沉积在编织物与烘缸表面。油墨和白土可在白水系统中凝聚成大颗粒,并最终成为纸产品上的可见尘埃点。

改为部分使用二次纤维浆配料的工厂发现,必须有更严格的编织物清洗和(或)系统除垢程序。

印刷厂普遍发现含有二次纤维的再生新闻纸和其他印刷纸在运行性能上没有很大差别。在可印刷性和外观上的差别更明显一些。再生纸由于其透气度大,吸收性更强些;因而在印刷中需要更多的油墨,这使印刷清晰度下降和擦拭性(rub-off)提高。但对白色纸种来说,最大的问题还是在外观。油墨斑点和其他尘埃点常常是不可容忍的,白度也可能有明显下降。二次纤维通常不能用作最重要纸种的配料。

参 考 文 献

- (1) GARCIA, D. A. **Recycling Capacity to Increase at Record Rates as Laws Proliferate** *Pulp & Paper* (May1990)
- (2) BROEREN, L. A. **New Technology, Economic Benefits Give Boost to Secondary Fiber Use** *Pulp & Paper* (November1989)
- (3) HOWARD, R. C. **The Effects of Recycling on Paper Quality** *Journal of P & P Scienc* 16 : 5 : J143-149 (September1990)
- (4) HORN, R. A. . . . **the Effects of Recycling on Fiber and Paper Properties** *Paper Trade Journal* (February 17/24, 1975)
- (5) SCHRIVER, K. E. **Mill Chemistry Must Be Considered Before Making Deink Line Decision** *Pulp & Paper* (March 1990)
- (6) SHRINATH, A. Et al **A Review of Ink-Removal Techniques in Current Deinking Technology** *Tappi Journal* (July1991)

第 15 章 抄纸浆料中的非纤维性助剂

在抄纸配料中使用大量的化学品以影响或增强纸页的特定性能,或为其他所需目的服务。湿部的各类化学品和矿物质助剂列示于表 15-1 中。其中如矾土、施胶剂、矿物质填料、淀粉与染料等都是常用的。用于控制生产过程的化学品,滤水助剂、消泡剂、助留剂、树脂分散剂、防腐浆剂、和腐蚀抑制剂等,则根据需要加入。加入的顺序必须考虑到避免因加入时间不合适而互相干扰,和能增加其在纸页中的留着率。

表 15-1 湿部化学品和矿物质助剂的分类

助 剂	用 途
酸性剂和碱性剂	控制 pH
矾土	控制 pH; 将助剂固着到纤维上; 改进留着率
施胶剂 (如松香)	控制液体的渗透
干强度胶粘剂 (如淀粉、树胶)	提高耐破度和抗张强度, 增加挺度和抵抗掉粉掉毛
湿强度树脂	增加餐巾纸和包装纸等的湿强度
填料 (如白土、滑石粉、TiO ₂)	改进光学性能和表面性能
着色物质 (染料和颜料)	给予所要求的颜色
助留剂	提高细小纤维和填料的留着率
纤维絮凝剂	改进纸页匀度
消泡剂	改进脱水和纸页的匀度
助滤剂	增强网上脱水
光学增白剂	改进表面白度
树脂控制剂	防止树脂的沉积与聚集
防腐剂	控制粘状物与其他微生物滋长
专用化学品	腐蚀抑制剂、防火与防锈化学品

不是所有的化学品都加到湿浆中的。施胶液往往是在生产过程的后面部分 (例如表面施胶所需的施胶辊) 加到干纸页上的; 颜料类涂料则用于高质量印刷纸。纸厂化学品和矿物质消耗量的逐渐递增, 估计主要是用作涂料。用量最大的是白土 (高岭土), 其中过半数是用作表面涂布的配料。

从经济角度透视化学品和矿物质对抄纸的贡献是很有意义的。也许成纸成本中平均有 10% 是由化学品贡献的。据估计, 每年北美纸和纸板销售额为 800 亿美元, 而造纸工业每年用去的助剂, 价值可能达 80 亿美元。

15.1 纸机上的留着率

在成纸时用以测定纤维与助剂留着率的两个参数是:

(1) 总留着率 (Overall retention) = $\frac{\text{留在纸页中的数量}}{\text{加入浆料中的数量}} \times 100\%$

$$(2) \text{ 单程留着率 (Single-Pass retention) } = \frac{\text{留在纸页中的数量}}{\text{从流浆箱来的数量}} \times 100\%$$

这些公式可应用于全部配料或应用于某个单一配料。各种助剂的使用成本主要与总留着率有关, 因为没有留在纸页中的部分, 随白水从系统中流失了。即使在高度封闭的新型抄纸系统中废水大量减少, 有些成分的流失仍然是可观的。

纸张质量和纸机运行受单程留着率的影响更大⁽¹⁾。单程留着率低, 表示与再循环白水一起的抄纸配料的循环率高; 这使纸页横断面分布的不均一性增加, 且可影响长网抄纸的两面性(即两面有不同的表面性能)。流浆箱循环圈内细小物质和助剂的积聚阻碍了滤水性, 细小物质部分由于其比表面积高, 吸附了若干不成比例的助剂量。树脂和粘状物也有很大的积聚与凝聚倾向, 而且一般来说更难于控制。

在纸页形成过程中, 影响诸如松香胶、淀粉、树脂和填料留着率的主要因素列于表 15-2

表 15-2 在纸页成形过程中影响留着率的因素

浆料因素	pH	网上的条件	纸页定量	助剂	填料的类型和数量
	浓度		纸页匀度		矿物质粒子的形状和密度
	温度		编织物(网子)特性		其他助剂的类型和数量
	纤维特性		脱水元件的形式		加入的次序
	系统封闭程度		纸机抄速		离子平衡
			摇振(如果使用的话)		阴离子废料的含量水平

中。非纤维性助剂的被保留是通过过滤、化学结合、胶体现象和吸附等机理而实现的。过滤(即机械截留)对保留较大颗粒很重要, 但细小颗粒则必须利用其他方法加以截留(见图 15-1)。例如, 据估计, 只有约 2% 的二氧化钛粒子(平均规格 0.2 μm)是被机械过滤所截留的。

造纸工作上使用许多助留化学品(也见下节)。由于这类化学品主要是通过凝聚和缠结而起作用, 在应用它们时应加小心。应该预见到对浆料滤水和纸页匀度的若干影响。最主要的, 流浆箱系统的分散作用必须充分, 以免浆料过分凝聚而破坏纸页匀度。

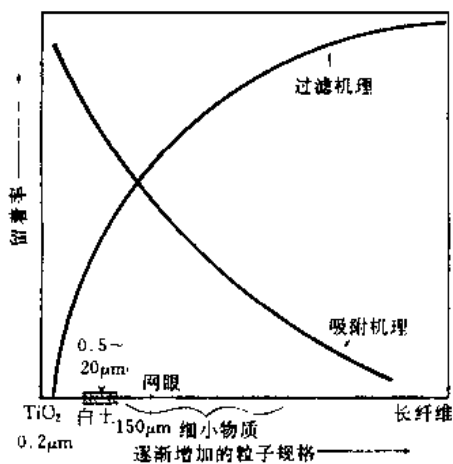


图 15-1 粒子规格对留着机理的影响

15.2 湿部化学

湿部化学是讨论抄纸配料之间的所有相互关系, 以及发生在纸机湿部的化学、物理过程。这个讨论对象虽然很复杂, 但对它的概念作一个基本了解, 而不是对其技术方面作过深的探讨, 还是有可能的。

在分子与胶体状态的主要相互作用是, 表面电荷、絮凝、凝聚、水解、随时间变化的化学反应、以及微生物活性。这些相互作用对抄纸过程很重要。例如, 为了获得有效的留着率、滤水度、纸页匀度和纸页特性, 必须使填料粒子、细小纤维、胶料与淀粉絮聚和(或)吸附到大纤维上, 而大纤维本身之间的絮凝又要最低。有很多现象(列示于表 15-3)可影响这些

重要的相互作用⁽²⁾。

表 15-3 影响分子与胶体相互作用的因素

化学品浓度
动电学
聚合物分子量、电荷密度、结构、形态
液压剪切力
停留与混合的时间
电解质浓度与化合价
絮凝物的强度与可逆性
比表面积
表面电荷密度
粒子规格与形态
缠结与过滤
吸附与大量溶解反应的热力学和动力学

在湿部化学中有三个主要体系,即:固体、胶体和可溶体。多数注意力都集中在胶体及其留着率上,为了尽可能提高留着率,很重要的是使细小纤维和填料彼此接近,形成对抗纸机流浆箱和上浆系统中剪切力的稳定结合体或聚集物。在新型抄纸系统中,常用合成聚合物完成此任务。

纤维素和半纤维素所衍生的某些胶体状物质是从纸浆或废纸中分离出来、或故意加入的。制浆过程将纤维素分子裂解成较小的有可能溶解的分子。这些小分子对过程控制和抄造性能有负面影响,它们的天然留着率实际为零。它们在系统内聚集、消耗化学品、且常常是一种祸害。

湿部化学控制对保证所制成纸张产品的均一性是必不可少的,如果让系统失去平衡(比如说加过量的阳离子聚合物),纤维本身就将絮聚而使纸页匀度受损。另外,功能性助剂(如胶料、湿强度剂)也常在湿部加入;如果化学作用失控,就不可能被充分地赋予功能性,产品质量也将不合格。

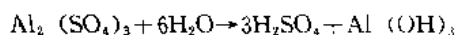
遗憾的是,由于可溶性物质使湿部化学变得相当复杂。无论它们是有机物还是无机物,故意还是非故意加入的,它们都改变聚合物的作用。特别是废纸配料包含有相当高浓度的可溶性物质以及多种化学品,这些都对湿部的可控性有负面影响。

动电学

Zeta 电位是指施加到存在于细小分散体中的电荷。悬浮在抄纸浆料中的固体粒子(如纤维、淀粉、矿物质)受带特定电荷的密集离子层的包围。这个离子层又受另一个比它更为松散的具有它自身电荷的离子层的包围。周围的悬浮液也有其自己的电荷(见图 15-2)。在包围固体粒子密集层与周围悬浮液之间的电荷差就是 Zeta 电位,通常以毫伏计量。

在抄纸系统中细小粒子和胶体的最佳留着率一般是在 Zeta 电位接近于零时。纸浆纤维、填料和胶料粒子通常带有负电荷,但 Zeta 电位可通过从溶液中吸收正离子加以控制。多价阳离子诸如铝(Al^{3+})与铁(Fe^{2+})是最为有效的。

造纸用矾土 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$,由于它有效地将带负电荷的纤维和颜料粒子中和到零电位,仍然是湿部化学常用的药剂。在适当的 pH 时,它还水解形成离子聚合物:



该铝聚合物借粒子与粒子的架桥作用具有明显的絮凝效应,从而形成大的“靠离子吸附在一起

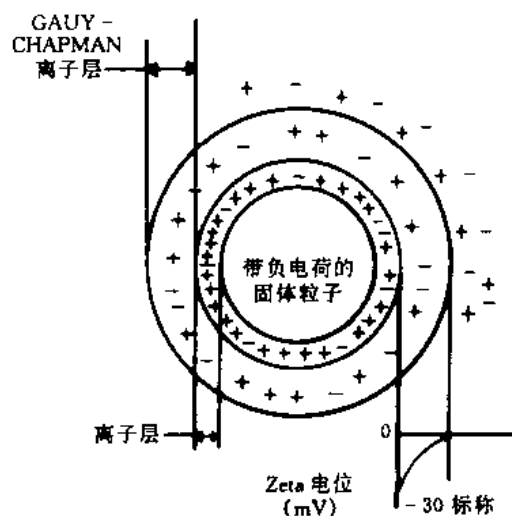


图 15-2 Zeta 电位的图形表示

的”絮聚块。但这种留着效应对剪切作用力或强烈搅拌十分敏感。随着纸机速度越来越高，矾土的效果也减弱了。

所幸的是已经开发出了具有良好抗剪切作用的合成聚合物。这些高分子电解质用作阳离子或阴离子助留剂。留着机理是离子电荷与将纤维跟粒子胶结在一起的长分子链的综合。合成聚合物比矾土更依赖于 pH，且在极稀溶液状态应用。现在用仪器可测量出 Zeta 电位和单程留着率。因此，利用高分子电解质聚合物优化 Zeta 电位和留着率的效果，可在工业生产条件下得到连续监控和评估。

有些研究者已发现，简单地将抄纸系统调整到接近于零 Zeta 电位，就会获得最佳效果（例见图 15-3）。其他一些研究者则发现，最佳 Zeta 电位为 -9mV 左右⁽⁴⁾。但在工业生产

实践中，这些研究结果往往无法获得进一步证实。看来 Zeta 电位似乎只是许多相互作用因素中的一个间接测量方法，这些因素的任何一个都有可能在某些情况下占据优势。因此不可能依靠它对抄纸系统的运行提供准确无误的信息。也许，在线 Zeta 电位测量的最佳作用是说明抄纸系统在正常运行，且在显示偏离正常值时表明情况失常。

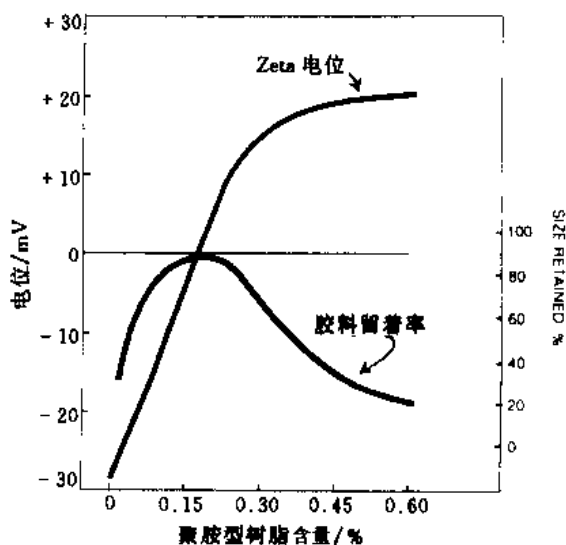


图 15-3 阳离子助留剂对 Zeta 电位与合成胶料留着率的影响 (E. Strazdins)

15.3 非纤维性助剂的应用

施胶

施胶的目的是使纸张产品能阻止流体的渗透。可通过使用湿部助剂或通过已在干燥的纸张表面上施加适当的涂料而完成施胶作用。有时则需要综合处理。进行湿部施胶剂还给纸张以其他所要求性能；但纸页仍保留多孔性。对于需要有水汽隔离层的产品，必须使用表面涂布的办法（也参见 18.1 节）。

影响液体渗透速率的基本因素是侵袭液体与纸页表面之间的接触角，如图 15-4 所示。湿部施胶剂的作用是给纤维表面以疏水性的、低能耗的涂布，以阻止水溶液大范围移动。

传统的湿部施胶剂是改性松香，最常以皂化形式使其成为水溶性。松香胶通常以高固形物稠浆形式售给工厂，并通过一个乳化器稀释计量进入浆料中。天然松香是从南方松获取的琥珀色树脂。以前，它是从活树开孔引出或从树桩抽出。现在更普遍的是从塔罗油加工而得（也参见 10.6 节）。松香是两性物质，即有亲水性部分和疏水性部分。为改善施胶，必须使疏水性部分向外定向排列，如图 15-5。实际上，松香是借矾土的作用，作为一个定向的树脂酸铝单分子层沉积在纤维上的。

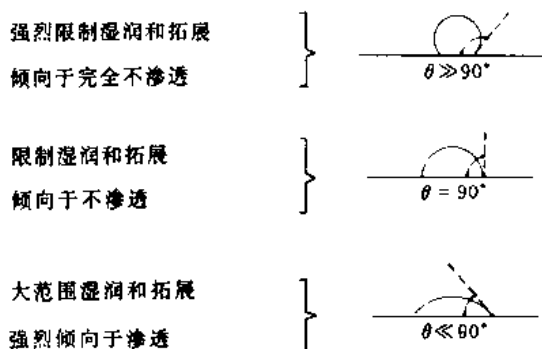


图 15-4 列示液体运动与接触角的关系

松香, 以及石蜡胶乳, 有时被列入非活性胶料一类。它们的留着率主要取决于粒子规格和对纤维素的静电引力。它们还与促进纤维表面流动与覆盖的干燥方法有关。但它们不与纤维起化学反应。

与传统酸性抄纸转移到中性或碱性抄纸 (见 15.4 节) 相对应, 使跟纤维素氢氧基起化学反应形成稳定醚链的合成施胶剂, 有了更大的用处。这类化学品在 20 世纪 50 年代引入造纸工业, 从而获得在无矾土介质情况下生产施胶纸的重要机会。

烷基烯酮二聚物 (AKD) 是第一个工业上使用的活性反应剂, 并仍在最广泛地使用着。丙烯酸硬脂酸链烯 (Acrylic stearic anhydride) 胶料 (从脂肪酸派生出来) 和链烯琥珀酐 (alkenyl succinic anhydride) 胶料 (从石油派生出来) 在应用上更具有活性并更有选择性。

内结合强度

大量天然和合成聚合物 (参见表 15-4) 可在湿部与浆料混合以改进干纸页的物理性能。它们的作用是加强纤维与纤维的结合, 从而提高耐破度和抗张强度、给予更大的耐擦性、降低纤维表面的起毛或掉毛以及降低渗水率。

传统的内结合强度助剂是天然的和改性的淀粉和树胶。淀粉是葡萄糖聚合物, 是从各种植物 (主要是玉米、木薯、土豆和小麦) 制取的。树胶是甘露糖与半乳糖聚合物, 是从槐豆 (locust bean) 和一种叫 “guar” 的种子中提取出来的。淀粉与树胶通常都在使用前, 在低浓度下蒸煮以促进膨润和分散 (更多的淀粉方面资料参见 18.1 节)。

目前合成聚合物 (诸如胶乳和聚丙烯酰胺, 它们或单独或与淀粉及树脂共同使用) 的用量逐渐增加。利用共聚或交联法, 这些产品已在过去 20 年的发展中, 满足了许多提高纸张强度 (以及不同程度的挺度和伸长率) 方面的特定需要。

湿强度树脂

普通纸张当其浸泡在多数油类或溶剂中时, 都将保留其大部分强度 (见表 15-5)。但由于水与纤维素之间特殊的相互作用, 正常的纤维—纤维结合键在含水介质中被破坏。湿强度树脂的作用是将纤维与细小物质以不会被水分开的外加结合键捆紧在一起。湿强度纸是指那些在湿态下仍保持其抗张强度 15% 以上的纸张。有些纸实

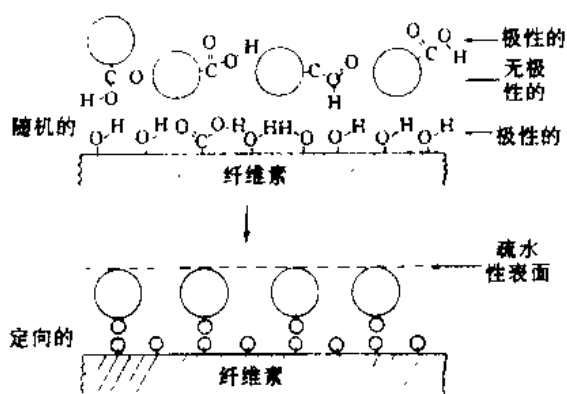


图 15-5 列出两性分子形成良好施胶纸时所需的定向排列

表 15-4 内结合强度助剂

天然聚合物
淀粉
• 天然或非改性的
• 化学改性的:
• 阳离子淀粉
• 阴离子淀粉
• 氧化淀粉
• 糊精
树胶
• 天然的
• 化学改性的
纤维素衍生物
羧甲基纤维素
甲基纤维素
半纤维素
合成聚合物
苯酚类
胶乳
聚胺
聚丙烯酰胺
脲甲醛
* 密胺甲醛
* 聚酰胺

* 主要用于湿强度助剂

际上可保持到 50%。湿强度在老化后会增加；该效应对经湿强度剂处理过的纸张更为明显，对未处理过的纸张也有作用。

表 15-5 浸没在各种液体中时普通纸张抗张强度的比较 (K. W. Britt, 1963)

干纸	13.7	戊醇	8.6	丙酮	6.3
石油	12.1	丁醇	7.9	乙醇	3.6
二甲苯	10.9	二氯己环	7.2	甲醇	1.4
己醇	9.2	丙醇	6.7	水	0.4

最常用的湿强度剂是脲甲醛、密胺甲醛和聚酰胺树脂，它们都是水溶性的，并以阴离子和阳离子形式使用。这些湿强度剂以中等聚合度加入，所以最终是在干燥部获得“固化”。因为湿强度树脂是水溶性的，它们必须固着在纤维上。在有些情况下留着率可以很低。阴离子树脂最好与矾土一起加入，但只能在松香胶已淀积后。浆料上的最佳留着率要经过相当长时间的接触才能获得。

填料或填充物

将细小分散的白色矿物质填料加入到抄纸浆料中，以改进纸页的光学与物理性能。填料用于充填纤维之间的空隙与缝隙，以制成密实、柔软、亮白、平滑和更不透明的纸页。有时，因填料价格往往低于纤维，加填后纸张价格也可低廉一些。

纸页填料的比比例受到强度、松厚度和施胶质量等方面综合下降的制约。大部分加填纸张含填料量为纸页质量的 5%~15%，而有些高填纸张则超过 30% (参见图 15-6)。20 世纪 80 年代的一项重要改革是湿部多组分化学品体系的发展，这种体系被描述为处于留着率、脱水和产品强度方面的最佳平衡状态^(5,6)。目前化学品供应商提供了许多种专利性双组分体系，据称允许有更高的填料含量而又不影响纸机产量或产品质量 (见图 15-7)。

常用的抄纸填料是白土 (高岭土、膨润土)、碳酸钙、滑石粉 (硅酸镁) 和二氧化钛。白土是最普通的填料，因为它价廉、丰富、稳定和一般能提供良好的使用性能。碳酸钙由于它在低 pH 水平时的可溶性，只用于中性或碱性体系。它比白土可获得更高的白度水平，且是一个较好的不透明剂；由于它中和了酸性物 (该酸性物在老化期间形成并起破坏作用)，特别适用于“耐久纸”。二氧化钛是最白的也是最有效的不透明剂；但它高昂的价格限制它只用于必须在低填料水平 (2%~3%) 获得高白度与高不透明度又不损失强度的那些场合。滑石粉以“软”填料著称，给纸张产品以柔软、丝

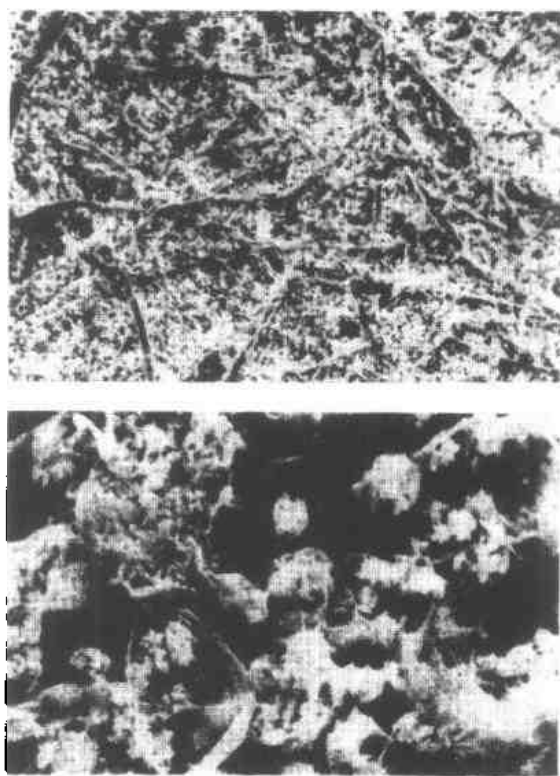


图 15-6 卷烟纸的两张不同倍数的电子扫描显微照片。注意其 CaCO_3 填料粒子 (造纸科技学院提供)

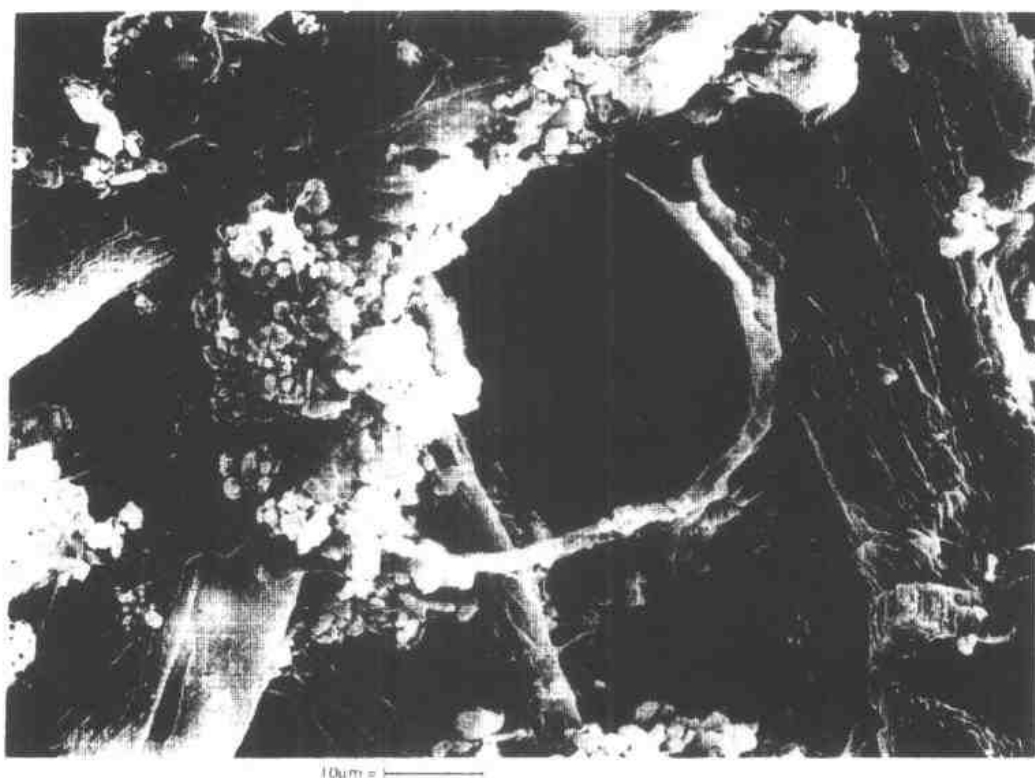


图 15-7 双组分体系形成的纸页的电子显微扫描照片。显示出纤维、改性膨润土填料、和细小纤维 (Hydrocol System, Allied Colloids 公司)

状的感觉。滑石粉也具有对树脂粒子的亲和力，可有效地防止抄纸系统的树脂障碍。

化学染料

染料被纸浆纤维吸收，取决于染料的化学特征、纤维的毛细管孔隙结构和纤维表面的特征和极性 (polarity)。水溶性染料的主要类型为酸性 (acid)、碱性 (basic)、或直接 (direct) 染料。从化学上说酸性和直接染料是类似的，两者都是有色酸 (colored acid) 的钠盐。其不同点是它们对纤维素纤维的亲水性 (或直接性)。在直接染料被纤维素纤维迅速吸收的同时，酸性染料只能被加入的松香胶和矾土所固着。酸性染料比其他类型的染料更易溶于水，且与碱性染料比较，有在混合纤维配料中不形成杂色的优点。作为一个品类，直接染料的可溶性不如酸性染料，倾向于形成胶体体系；它们常常不如碱性染料那么鲜亮，而且生产特定色调的价格也比较贵。

碱性染料是有色基的盐类，一般以氯化物、盐酸、硫酸盐、或草酸盐形式出现。它们是有用于有色纸的最重要品类。它们具有廉价、高着色强度、与高光泽的优点。有时使用碱性染料以改进酸性或直接染料的光泽，这样就形成了少量不溶性的“沉淀色料 (color lake)。”由于碱性染料有好几个化学组合，发现在各分类中间物理和染色性能方面有不少差别。但作为一个品类，碱性染料对光线、酸性、碱性、和氯气的耐受性都相当差。

所有染料都是特定的化合物。因加入一种以上的这类化合物，所形成的实际颜色受各种工艺条件的影响，诸如所用纸浆的特性、精磨的程度、以及化学品的平衡。因此，产品的颜色搭配和颜色均一性的控制是一项需要经验与判断力的困难任务。常需此领域的专家咨询来解决具体问题。

树脂的控制

在纸厂中的一个常见难题是在造纸系统中树脂粒子的沉积。这些粒子聚集在成形编织物的孔眼中,从而使成品产生孔洞。它们还聚集在压榨毛毯的组织结构内部,从而降低了毛毯的渗透性,并造成辊子表面纸页的粘连和不均一剥落。一旦发生沉积,只能用溶剂或特殊清洁剂清洗加以除去。

树脂由低分子量的亲油物质(主要是脂肪酸和酯类)组成,它在化学和机械处理期间从木材纤维中脱离出来,而以钙盐和镁盐形式沉淀。对抄纸系统有不良影响的是“可沉积的树脂”,而不是总树脂含量。分散得很好的树脂一般是不会造成困难的。

在酸性体系中,矾土是作为阳离子将树脂固定在纤维上。非离子湿润剂一般用在碱性体系中以分散树脂。因为树脂是以钙盐和镁盐形式沉淀的,任何能减少这些离子的数量或影响的措施都将是有益的。如有可能,应避免使用硬水。有时可使用减少金属离子活性的螯合剂。为了有效起见,所用以控制树脂的化学品必须在发生凝聚以前加入。

15.4 碱性抄纸

施胶纸传统上只在酸性条件下制成。在中性或碱性条件下生产纸张的可能性,至今已存在了30年以上,欧洲的高档纸生产厂,已有约75%转向该技术。北美造纸工作者的转变起初是颇为勉强的,但自20世纪80年代以来兴趣已大为增加。原始推动力主要来自用户对高白度与高不透明度的需求。另一些重要因素是碳酸钙填料已变得容易获得且更具价格上竞争性。北美有约30%的高级纸现在是由碱法生产出来的。

随着工厂方向的转变,已证明的确可带来许多的效益。目前,对转变的主要推动力是碱法纸有较大的强度,它允许加入更多的白土和碳酸钙填料。用碱法施胶的典型灰分含量范围为18%~25%,而用酸性体系则为7%~12%⁽¹⁾。用填料替代纤维也提供了重要的经济利益。因为碳酸钙可将抄纸系统的pH稳定在7.2~8.0的范围内,就不再需要另外的pH控制办法了。此外,碱法体系比酸法体系更易于封闭。

除了活性合成胶料外,碳酸钙填料是碱法抄纸的核心。常用的两种碳酸钙具有十分不同的组织形态。研磨碳酸钙是由天然的白垩沉积物用复杂的湿磨技术制成的。沉淀碳酸钙是利用烟气通过石灰乳液而制成。虽然常使用任一种碳酸钙作为单一填料,对一个特定纸种也可混合使用,以优化不透明度和达到最好的生产目标。

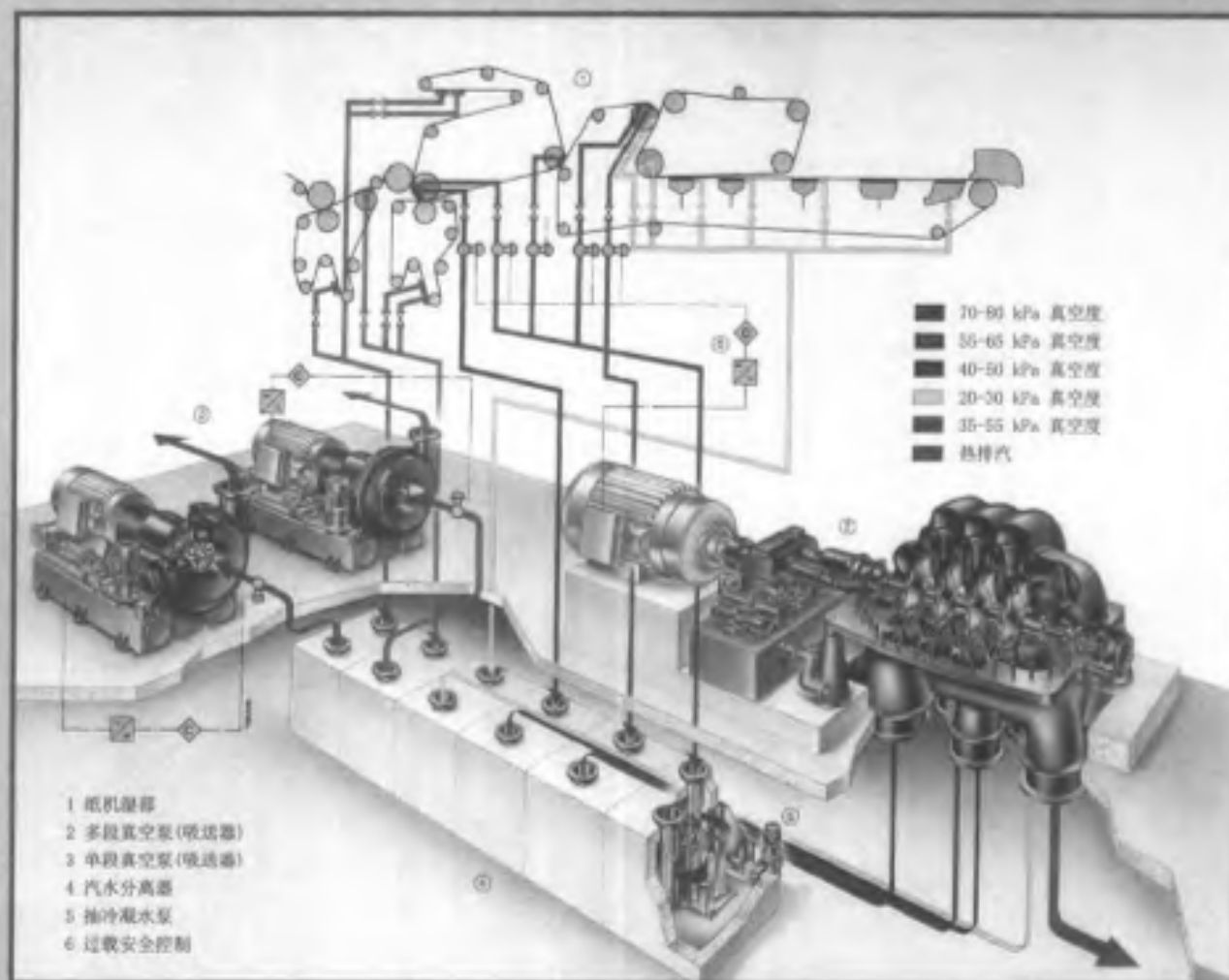
所谓碱法抄纸体系,实际上是在7.0~8.0pH范围内操作,即刚刚才进入碱性区域。无怪乎许多造纸工作者更喜欢用“中性抄纸”的术语。

参考文献

- (1) BRITT, K. W. *Why Bother About First-Pass Retention of Solids on the Paper Machine?* *paper Trade Journal* (April 15, 1977)
- (2) NAZIR, B. A. and CARNEGIE-JONES, J. *Optimising Wet-end Chemistry-the Practicalities* *Paper Technology* (December 1991)
- (3) GUEST, D. *The Effects of Secondary Fibre on Wet-end Chemistry* *Paper Technology* (December 1990)
- (4) GRIGGS, W. H. and CROUSE, B. W. *Wet End Sizing-An Overview* *TAPPI* 63: 6: 49-54 (June 1980)

-
- (5) HAYES, A. J. 40% Filler Loaded Paper-Dream or Reality? *Pape Tech. Ind.* (April/May 1985)
 - (6) BROWN, R. Review of Methods for Increasing Filler Loading *Pape Tech. Ind.* (October 1985)
 - (7) WILEY, T. Converting to Alkaline: U. S. Fine Paper and Board Mills Step Up Pace *Pulp & Paper* (Buyers Guide 1989)

SULZER Turbair® 真空系统



专业开发各类纸机、纸板机和抄浆机的抽水设施

- 低能耗
- 设计紧凑
- 无密封水消耗
- 在很宽工况下有恒定的真空度
- 能源再生
- 最佳的效率与最大的可靠性
- 无故障作业
- 对工艺要求有高度的适应性

SULZER
TURBO

Sulzer Turbo Ltd
Hardstrasse 319
CH-8005 Zürich, Switzerland (瑞士)
电话: +41 / 1-2782211
传真: +41 / 1-2783370
www.sulzerturbo.com

苏尔寿北京代表处
建国门内大街7号
光华长安大厦1座801室
邮编: 100005
电话: +86 / 10-6510 1778
传真: +86 / 10-6510 1784

第 16 章 纸机湿部运行

造纸术是中国在公元 100 年左右时发明的,当时发现纤维(借浸泡竹子内皮部分而得)的稀悬浮液可通过细筛网过滤,在网上形成一层薄浆片。该浆片通过压榨、干燥和施胶,可制成适用于书画的纸张。

直至 19 世纪始,纸张都是用手抄制成的。法国人 Louis Robert 在 1799 年首次获得连续抄纸机结构的专利。1803 年在英国投产了有史以来的第一台纸机,并获成功运行。Fourdrinier 兄弟于 1803 年接手开发,并于 1807 年获得了全部专利权。纸机最终被称之为 Fourdrinier 纸机(这是国外对长网纸机的通称——译者注)。早期的纸机包括一个流浆箱,它将抄纸浆料加入到支托在双辊之间的移动网布上;湿纸页在网上经过初压,然后去到毛毯,并在行经另一个压区后卷绕在纸辊上,以便最后以纸页形式加以干燥。

16.1 纸机简介

自 Louis Robert 时代以来,纸机已经历了持续发展,使它有可能在车速不断增加的情况下生产出幅门更宽的、符合更严格质量标准的纸张。长网纸机的基本型式如图 16-1 所示,下面对其每个主要部分作简要说明:

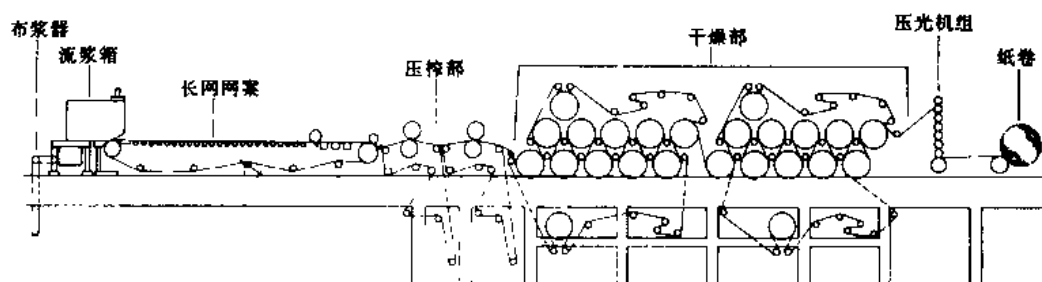


图 16-1 长网纸机 (Beloit 公司提供)

- 布浆器接受从人口管道来的浆流,并将其沿纸机横向(从后至前)作均匀分布。
- 压力流浆箱喷出均一的纸料射流到移动的成形编织物上。在无端的移动编织物上,纤维形成一个连续的湿纸幅,同时网案借真空作用力排除水分(在其他形式的纸机上,纸页也可借其他方法形成,例如在两张编织物之间,或在包绕编织物的圆网笼上。)
- 纸页输送经过一系列的压辊,去除多余水分,纸幅被压实(即纤维被强制紧密接触)。
- 随着纸页在干燥部与一系列蒸汽烘缸相接触,蒸发掉绝大多数残余水分,纤维之间的结合力进一步增加。
- 纸页通过一系列辊子压区进行压光,以减少厚度和使表面平滑。
- 经干燥、压光的纸页卷成纸卷。

上面所述的长网纸机,可认为是一个适合于多个纸种的基本设计形式。对某类纸张或特定纸种,已研制了许多变型、改型纸机和附加的机内作业工序。例如,有大量纸机配置了表面施

胶、表面涂布、和(或)特殊的压光处理。有些改型纸机将在以后章节中讨论(见 18~20 章)。

16.2 流送系统 (Approach System) (又称上浆系统)

流送系统的术语中专指冲浆泵循环回路,在那里对纸料进行计量、稀释、与必需的助剂混入以及在最后上网前进行的筛选与净化。

流送系统的范围是从纸机贮浆槽到流浆箱堰板。有时,浆槽和精磨机也可认为是流送系统的组成部分。虽然流浆箱与流送系统结合在一起,它也是纸机的组成部分,将在本章的下一节加以讨论。尽管纸机贮浆槽的浆料应该是十分干净的(假设浆厂或二次纤维制备系统有良好的管理),大多数纸机流送系统还是用筛浆机和净化器(除砂器)作为外来杂质的屏障。传统上筛浆机的功能主要是除去粗大杂质和分散絮凝在一起的纤维,而净化器则用以除去若干细小物质。在这种格式下运行的压力筛只需排出少量筛渣。直径相对较大的离心式净化器则一般用以除去纤维束和浆块(参见 9.4 和 9.5 节)。示于图 16-2 的流送系统简图是一个单泵系统,冲浆泵是整个稀浆循环圈内抽送动力的唯一来源。

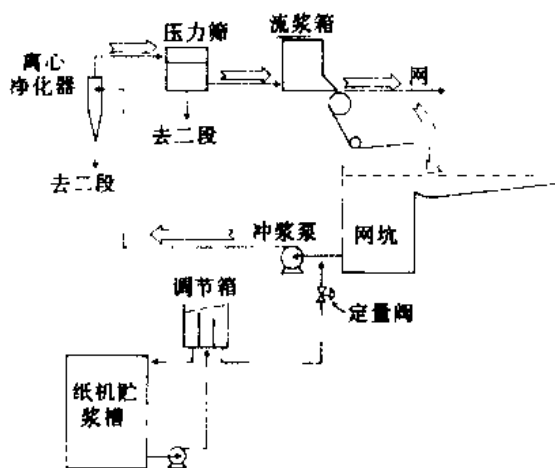


图 16-2 纸机流送系统简图

直径相对较大的离心式净化器则一般用以除去纤维束和浆块(参见 9.4 和 9.5 节)。示于图 16-2 的流送系统简图是一个单泵系统,冲浆泵是整个稀浆循环圈内抽送动力的唯一来源。

对诸如高级纸和涂布纸类产品,在流浆箱处的最新要求是实际上无任何杂质的浆料。提升抄纸配料等级的一项措施是在流送系统采用条型筛,并同时提高二段和三段筛的效率。这类措施目前在欧洲和日本普遍采用,是获得洁净浆料的最经济办法。但必须记住,这种改造提供较高的除碎片效率,也可能牺牲流送系统筛浆机数天或数星期不堵塞一次的安全性能(另一个费用较昂贵的措施是在混合箱与纸机贮浆槽之间另安装一套独立的筛浆系统;造纸工作者称该方案为浓浆筛选系统)。

流送系统的动力源是冲浆泵,它混合浆料与白水,并将混合液送去流浆箱。冲浆泵是抄纸系统最大的一台泵,对它的要求是必须十分精确。流量和压力必须稳定。没有脉冲或波动,而且还要有在整个纸机操作范围内及时改变的能力。通常都使用单台冲浆泵,但有时也将两台冲浆泵串联使用。当在真空下脱除空气时双泵系统是必须的。

为了保证去流浆箱的浆料均匀分散,要从稳压槽(称为“调浆箱”)经过一个控制阀(称为“定量阀”)送入浆料,通常是轴向引入冲浆泵的吸入管,如图 16-3 所示⁽¹⁾。

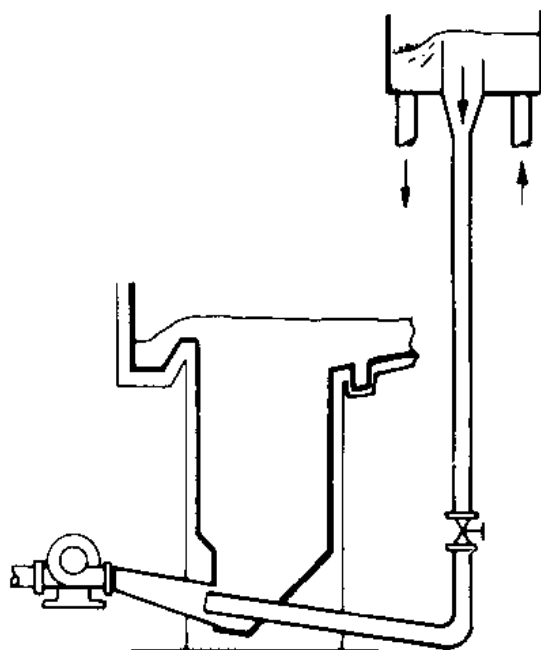


图 16-3 推荐的调浆箱装置与浆料进入纸机流送系统 (Beloit 公司)

夹杂空气

夹杂在流浆箱浆料中的气泡可造成纸病（孔洞、小斑点），降低网上滤水度以及使流送系统不稳定。少量的空气一般是在搅拌与浆流跌落时混入浆中的。但主要的空气来源在于使用了网下白水。从纸机成形部来的自由排水，落入集水盘中，再汇集到成形网下面或纸机后部的白水池中（图 16-4）。这些白水不可避免地吸取了大量游离空气，相当长时间的敞口沟流，目的就是希望在网下白水与浆流重新混合前能释出空气和消除湍动。根据网下白水中存在什么助剂，加入消泡剂对协助释出空气可能是值得的。

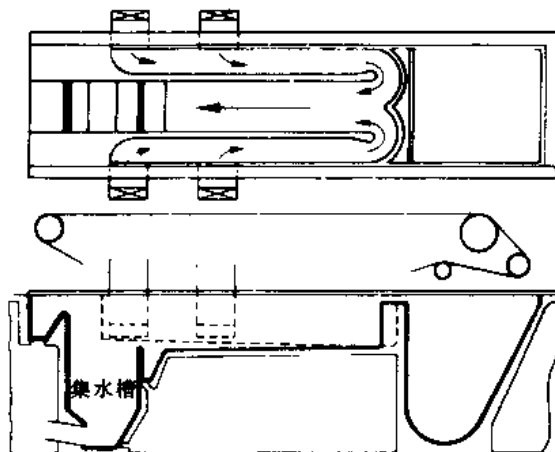


图 16-4 位于网部下面的典型网下白水池 (Beloit 公司)

虽然在设计和操作上作了最大努力以控制空气的进入，但在有些情况下，由于产品质量要求或为了弥补设计缺陷，浆料脱气可能仍是必需的。脱气作用是借将浆料（一般为离心净化器良浆）喷入真空装置中驱去空气而完成的，如图 16-5 和图 16-6 所示的除气器系统⁽²⁾。

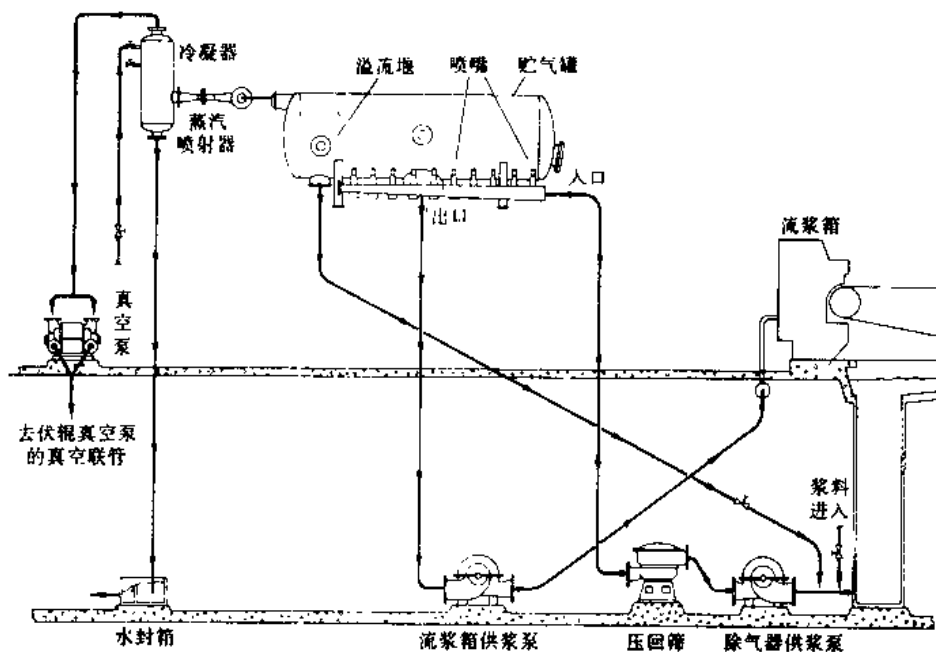


图 16-5 只用除去空气的除气器系统简图 (Clark & Vicario 公司)

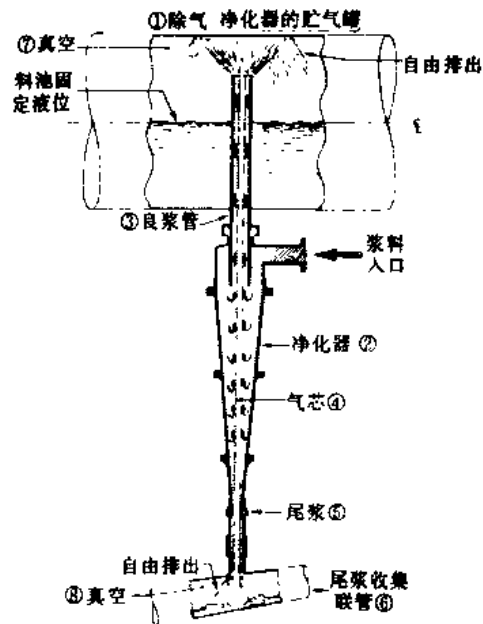


图 16-6 浆料喷入除气器真空室的详细结构
(Clark & Vicario 公司)

16.3 布浆器与流浆箱

流浆箱的作用是接受冲浆泵送来浆料，将管道浆流转换成匀称的宽度与纸机相等并在纸机纵向有均一流速的矩形浆流。因为最终纸产品的匀度和均一性取决于纤维和填料的均匀分散程度，流浆箱系统的设计和运行对一个成功的抄纸系统来说就显得特别重要。

下面是流浆箱系统特定的运行目的：

- (1) 分散浆料使其均匀地流经纸机全宽。
- (2) 消除横流与浓度波动。
- (3) 消除纵向流速的梯度差。
- (4) 产生可控的湍动以消除纤维絮凝物。
- (5) 以正确的位置和角度从堰板口均匀地排出并喷射到成形网。

此外，下列设计目标对操作者来说是很重要的：

- (1) 内在洁净度。
- (2) 容易操作。
- (3) 流浆箱设定的测量精度。
- (4) 保持固定堰板开度的结构强度。

根据喷出浆料所需的速度，流浆箱可分成敞口型或压力型两种。压力流浆箱又可进一步分成气垫式和水力式。在水力式结构中，从堰板喷出的浆速与进浆泵的压力成正比。在气垫式结构中，喷浆的能量也来自进浆泵压力，但借堰池上方空间的空气压力维持堰池液位和使喷浆压头减弱，

在流浆箱内的总压头（压力）决定堰板的喷浆速度。根据柏努利公式：

$$v = \sqrt{2gh}$$

式中 v ——喷浆速度, m/s

h ——液体压头, m

g ——重力加速度, 9.81m/s^2

由于堰板几何结构的原因, 从典型流浆箱堰板喷出的浆料, 其厚度收缩并向下倾斜。喷浆厚度与喷浆速度共同决定来自流浆箱的体积流量。因为堰板孔口规格并不直接代表喷浆的厚度, 如果要计算流量, 就必须考虑喷浆的收缩作用⁽³⁾。

早期纸机上使用的敞口式流浆箱是利用浆料自重产生的压头, 而提供正确的喷浆流速 (图 16-7)。随着纸机速度的增加, 要再相应增加浆料的自重已变得不现实, 于是就出现了压力式流浆箱。敞口式流浆箱目前主要用在低车速的浆板机上。

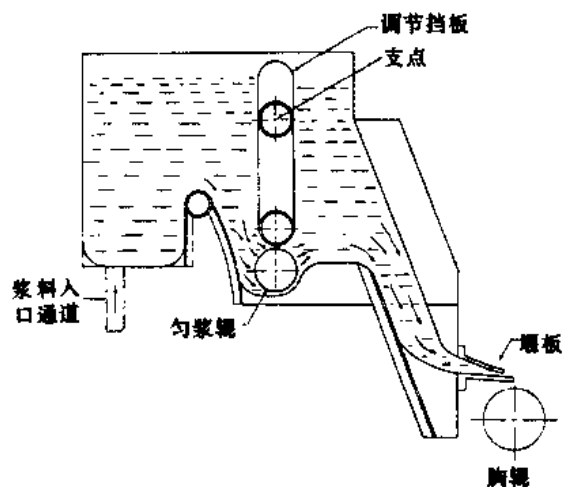


图 16-7 敞开式流浆箱剖视图

两种通用的气垫式流浆箱结构示于图 16-8 和图 16-9 这类流浆箱依赖带孔回转辊 (即匀

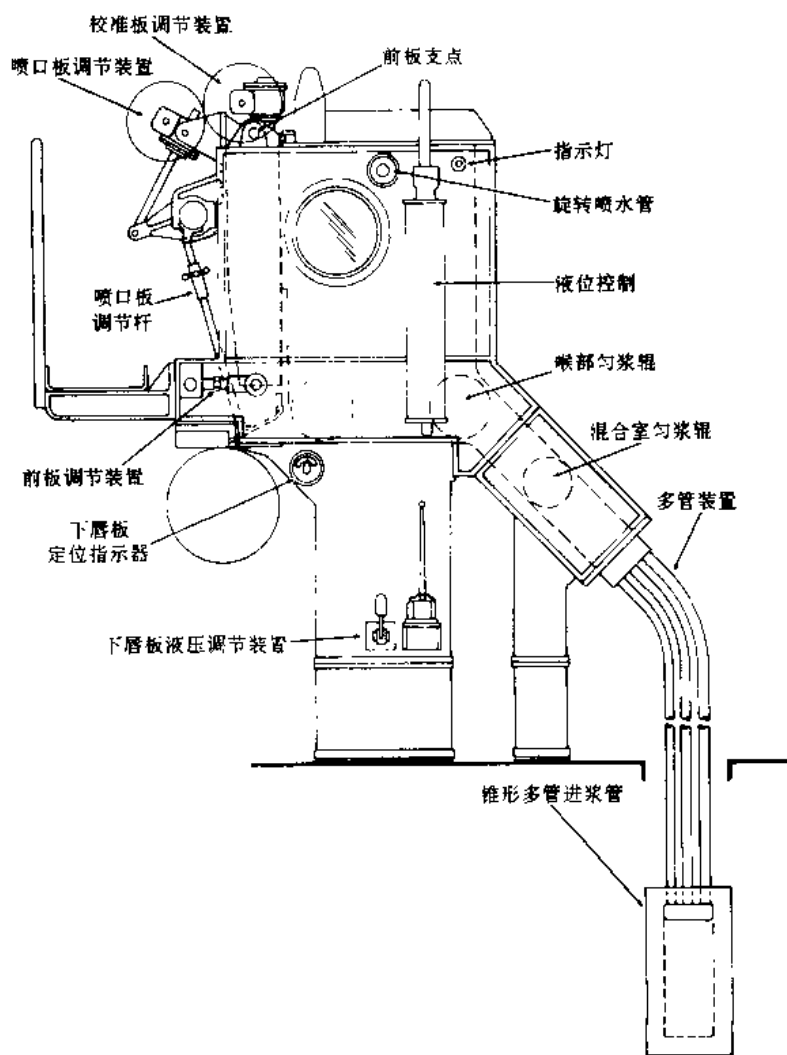


图 16-8 气垫流浆箱 (Allis-Chalmers)

浆辊)的作用,提供湍动和消除速度梯度。流浆箱配置喷淋水管以喷洒其堰池与侧边。若干老式结构(例图 16-10)将接受室(也称涡漩室或爆破室)与布浆系统进浆管相连接,后接可调式缝隙或喉部。这个缝隙大小很重要;如果太大,从进浆管束来的高速浆流将持续存在;如果太小,可能会产生不良的漩涡(涡流)。气垫式流浆箱的内部视图示于图 16-11。

图 16-12 和图 16-13 列示出两种水力式流浆箱结构。这种流浆箱通常很少使用带孔辊(匀浆辊),提供湍动和破坏纤维网络的剪切力主要是在小管子小通道中发生的。

浆流分布器(多管布浆器)

虽然新型布浆器与流浆箱结合在一起,但由于在高速纸机上其作用是如此地重要,还由于它可在不考虑流浆箱其余部分的情况下评价其使用性能,有时也可把它看作是一个独立的部件⁽⁴⁾。20 世纪 50 年代中期, J. Mardon 推出了带再循环的锥形多管进浆的试验装置,而此前使管道浆流均一地分布于在纸机全宽的设计问题一直得不到解决。目前,多管布浆器的设计(如图 16-14 所示)已是所有新型流浆箱的共同特征了。

锥形多管进浆的主管截面可以为圆形或矩形。绝大多数设计是在管上部使用一块厚板,该厚板可为正确定位的小支管精确地钻出孔眼。多管装置的操作可参见图 16-14。控制循环量以维持在 A 点和 B 点的相同压力,这可在视镜上不再有浆料流动而获知。图 16-15 表示出循环量太少或太多的后果。

多孔辊(匀浆辊)

如果布浆系统因某种原因而失效,就使均衡浆流波动的重担,前推到堰板附近。在气垫式流浆箱中,通常都使用多孔辊(亦称匀浆辊)以均衡不规则浆流,并形成湍动以保持纤维的分散状态(见图 16-16)。

匀浆辊的主要结构及操作变数是孔径、开孔面积率(%)、壁厚、转动方向和转速。通常孔径范围为 2~4cm,开孔面积率为 35%~50%,转速为 6~15r/min。辊数及相应位置也是一项设计考虑。例如,示于图 16-10 中的流浆箱也有 3 辊与 5 辊两种结构。安装在流浆箱内的匀浆辊间隙必须小一些;因为任何从辊下或辊端部流过的浆料不会受匀浆辊作用的

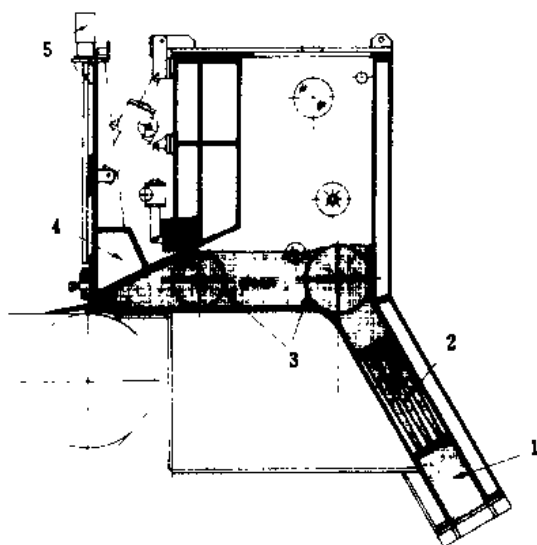


图 16-9 气垫式流浆箱示意图

1—方锥管布浆器 2—侧锥形管 3—匀浆辊
4—堰板装置 5—堰板横幅调节装置 (LG 工业公司)

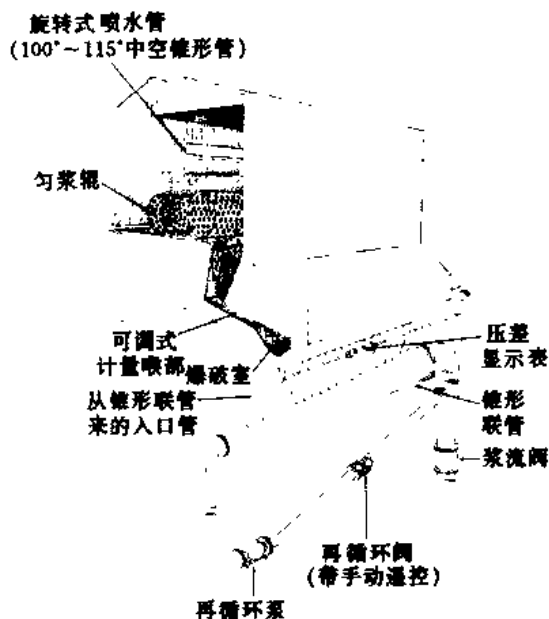


图 16-10 1965 年左右的气垫式流浆箱 (Beloit 公司)

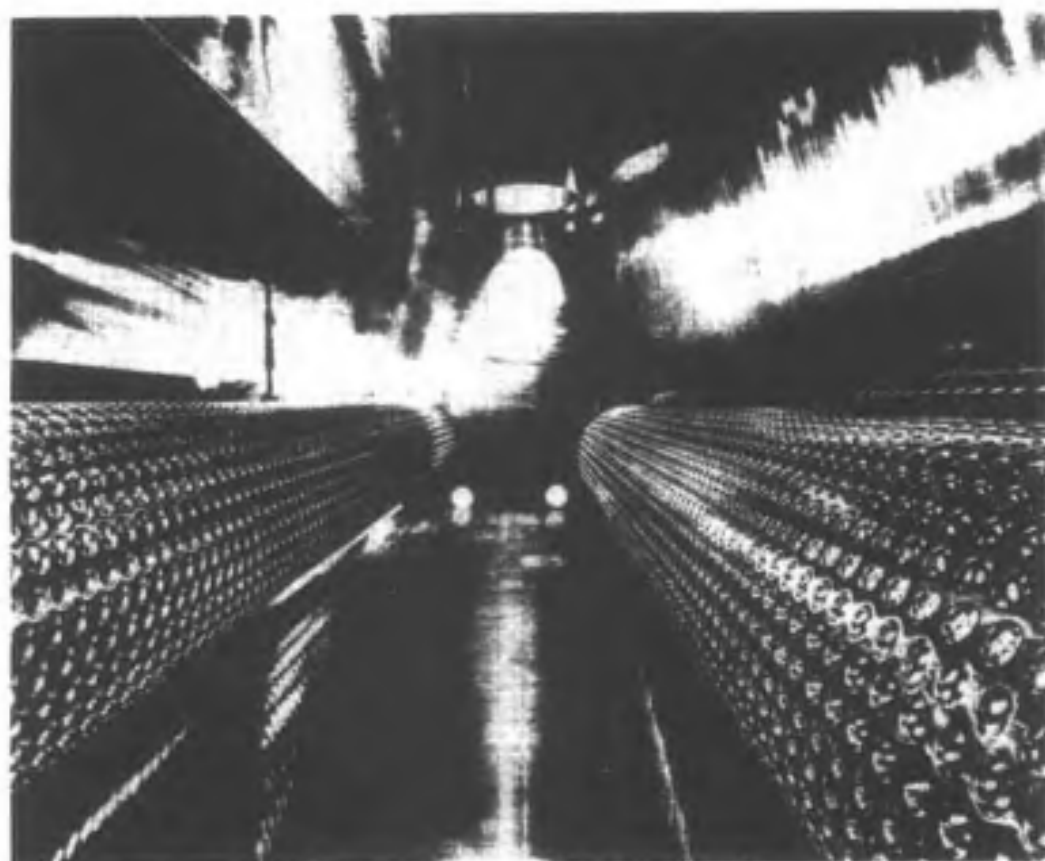


图 16-11 气垫式流浆箱的内部视图，所有表面都抛光以减少沉积（KMW 公司）

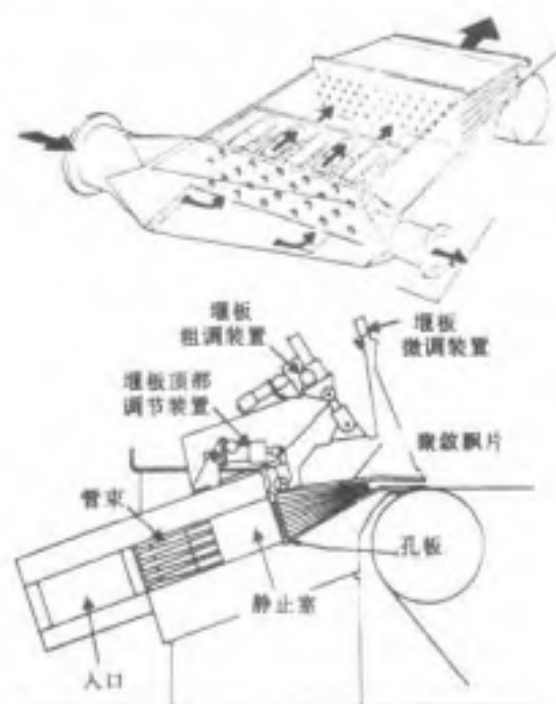


图 16-12 Converflow 流浆箱的两个视图

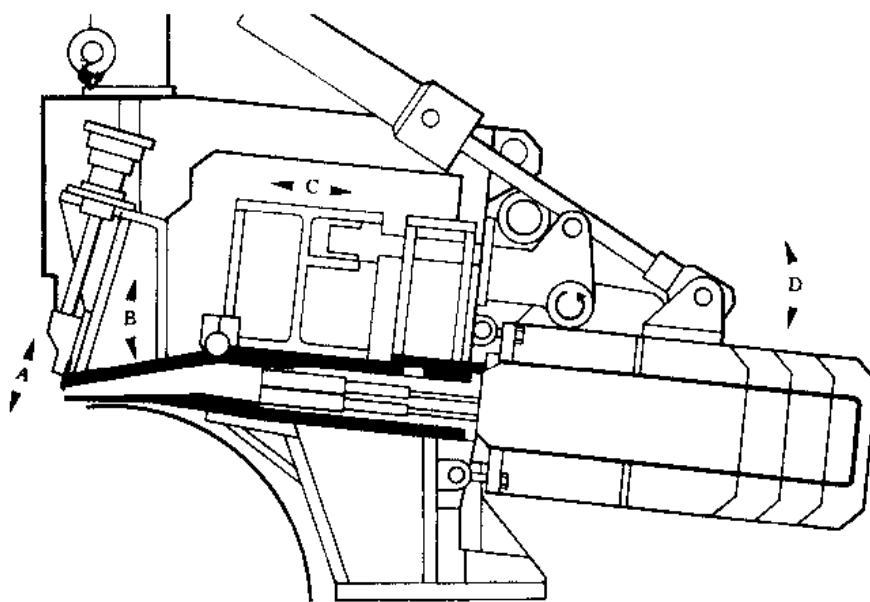


图 16-13 水力式流浆箱 (Escher-Wyss 公司)

A 堰板的设定和精调 B—上唇板的调节与流量和纸机速度有关

C—上唇板的水平位移影响射流的着网点从而影响纸页匀度

D—布浆器可完全挪开以便清洗或检查

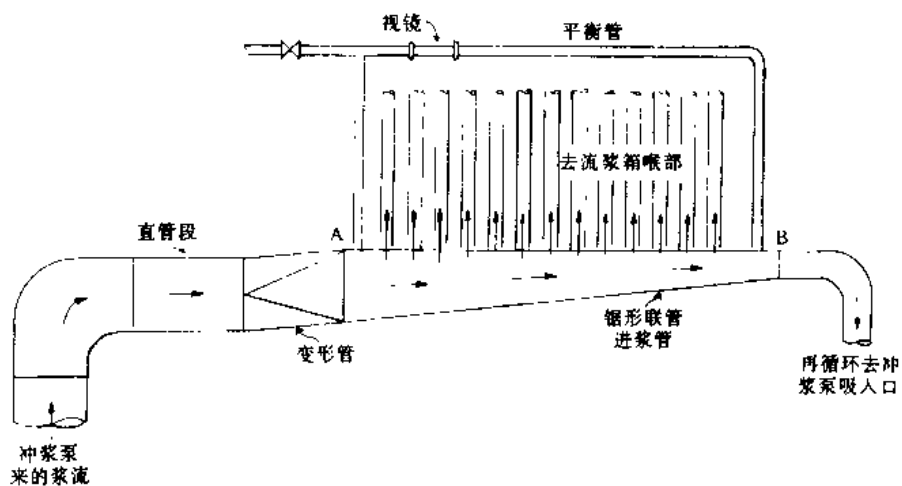


图 16-14 带小支管的锥形多管进浆装置

影响。

堰板

流浆箱堰板是纸机全宽的一个喷嘴，它可全面调节开度大小以获得所需流量。堰板的几何形状和开度决定堰板喷浆（或射流）的厚度，而流浆箱的压力则决定其速度。

每个堰板都有一个唇板和一个裙板（下唇板），两者均由适当的抗磨合金制成。上唇板可

作为整体（即“主堰板”）上下调节，也可利用单个微调器作局部调节（手动或电动）。也可调节上唇板或裙板向水平方向的延伸，以改变喷浆落到成形编织物上的喷射角。裙板通常略向孔口倾斜。

堰板可大致分成刀型（也称直立型或垂直型）、聚敛型或综合型三类，如图16-17所示。但也使用许多特殊结构。图16-18示出典型的综合型堰板，其聚敛部分是用以使浆料加速，在端部所用的直立区则是为了给喷浆提供“微小规模”的湍动。

如图16-19所示，可能有两种射流喷出的形式。绝大多数长网机都利用速度成形。通常，压力成形会在胸辊处喷浆过多，造成细小纤维与填料的保留率低，及纸页的匀度差。

描述堰板几何形状的通用标志示于图16-20（也参见图16-17）。决定喷射角的规格尺寸是：

L ——裙板超出内垂直面的投影

b ——垂直刀与裙板端部之间的堰板开度

L/b 之比对喷射角的影响示于图16-21。喷射角与着网点对于在成形网上获得满意的匀度和滤水度是很重要的（也见16.5节）。

水线的定义

当从网部上面观察时，可在长网上见到一条明显的分界线（通常在第二真空箱附近），它相当于浆料面上不再呈现镜面的地方（见图16-22）。纸机操作工将水线的位置和形状视为湿部操作的指针。例如，水线的位置改变可能表示浆料滤水度的变化，它可通过改变流浆箱浓度或真空度来加以弥补。

水线形状的不规则可能缘于许多因素，但最经常的可追踪到流浆箱出浆的不均一性，如图16-23所示。水线的不规则性常与纸卷上纸页定量的横向波动相对应。

堰板侧边的泄液

大多数压力流浆箱都配有堰板侧边泄液装置以便更好地控制纸边匀度。通过在流

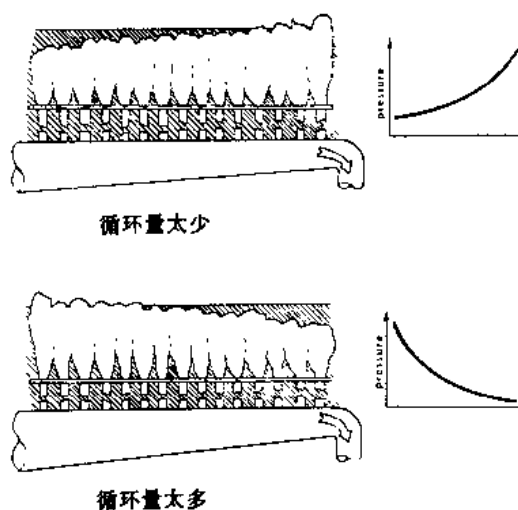


图16-15 锥形多管进浆管循环量不正确的后果（J. Mardon）

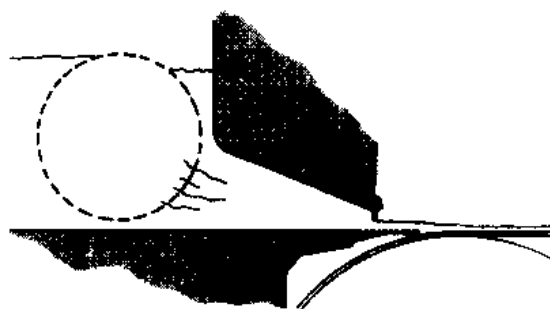


图16-16 列出出堰板匀浆辊的作用（Beloit 公司提供）

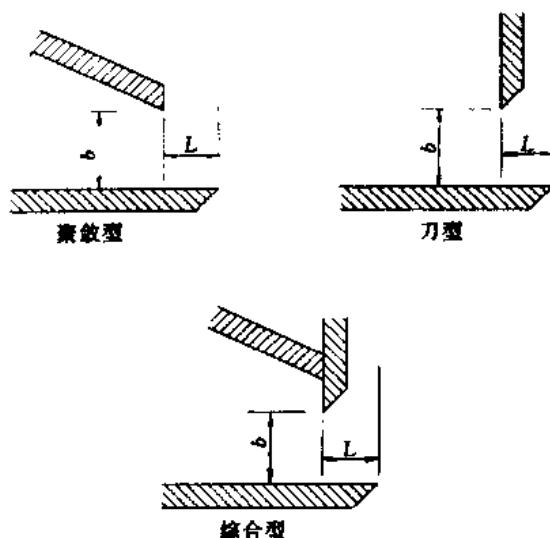


图16-17 各种堰板设计

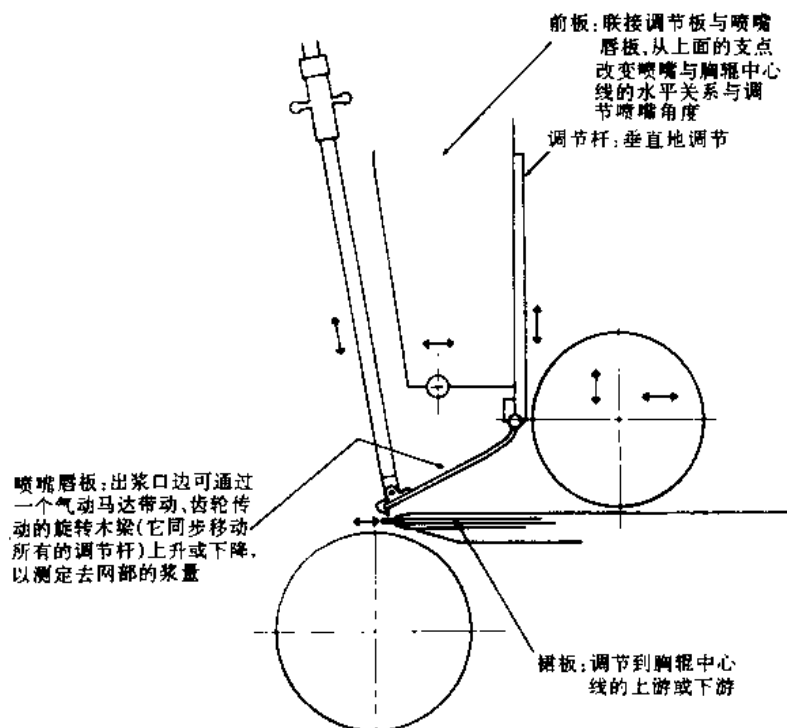


图 16-18 表示各种调节装置的有代表性的综合型堰板 (Allis Chalmers)

浆箱侧边排出少量浆液，将抵消掉射流边缘部分呈抛散状的自然倾向。一次与二次泄液调节，对水线（从网上观察到）的影响示于图 16-24。

流浆箱的操作

流浆箱的主要操作变数是浆浓和温度，以及浆网速比。一般在不损害单程留着率或不超过成形部滤水能力的情况下，浓度定得低些，可获得良好的纸页匀度。因为较高的温度可改善浆料的滤水性，所以温度和浓度是两个互有关联的变数。浓度随堰板开度的上升或下降而改变。因为浆料的加入量只受定量阀控制，堰板开度的改变主要影响从网坑来的循环白水量。

浆网速比一般调节到接近于 1，以获得最佳的纸页匀度。如果浆速滞后于网速，纸页看作是“被拉着”；如果浆速超过网速，纸页看作是“被推着”。有时，必须略微推或拉一下纸页以改善脱水或改变纤维走向。当然，浆速不是实际测出来的，而是从流浆

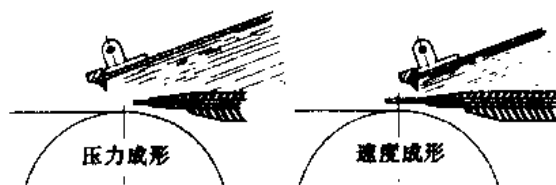


图 16-19 射流喷浆的两种极端型式

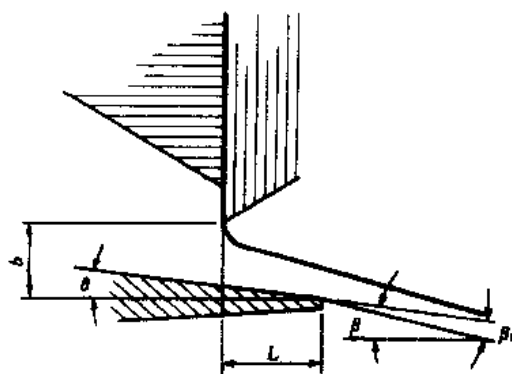


图 16-20 表示堰板几何形状和射流角度的专门术语 (Nelson)

箱压力推算出来的。

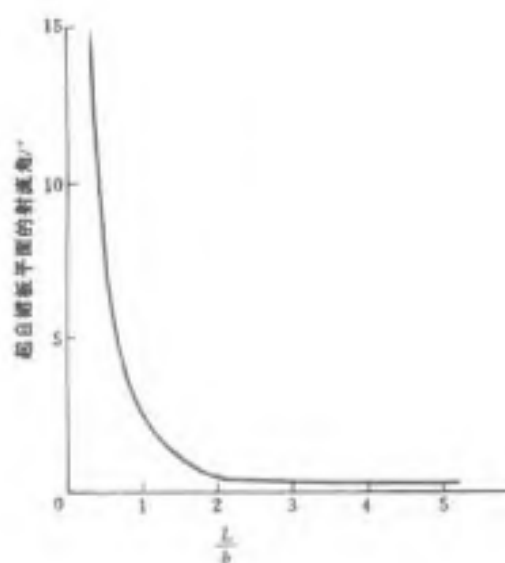


图 16-21 L/b 比对射流角度的影响 (Nelson)

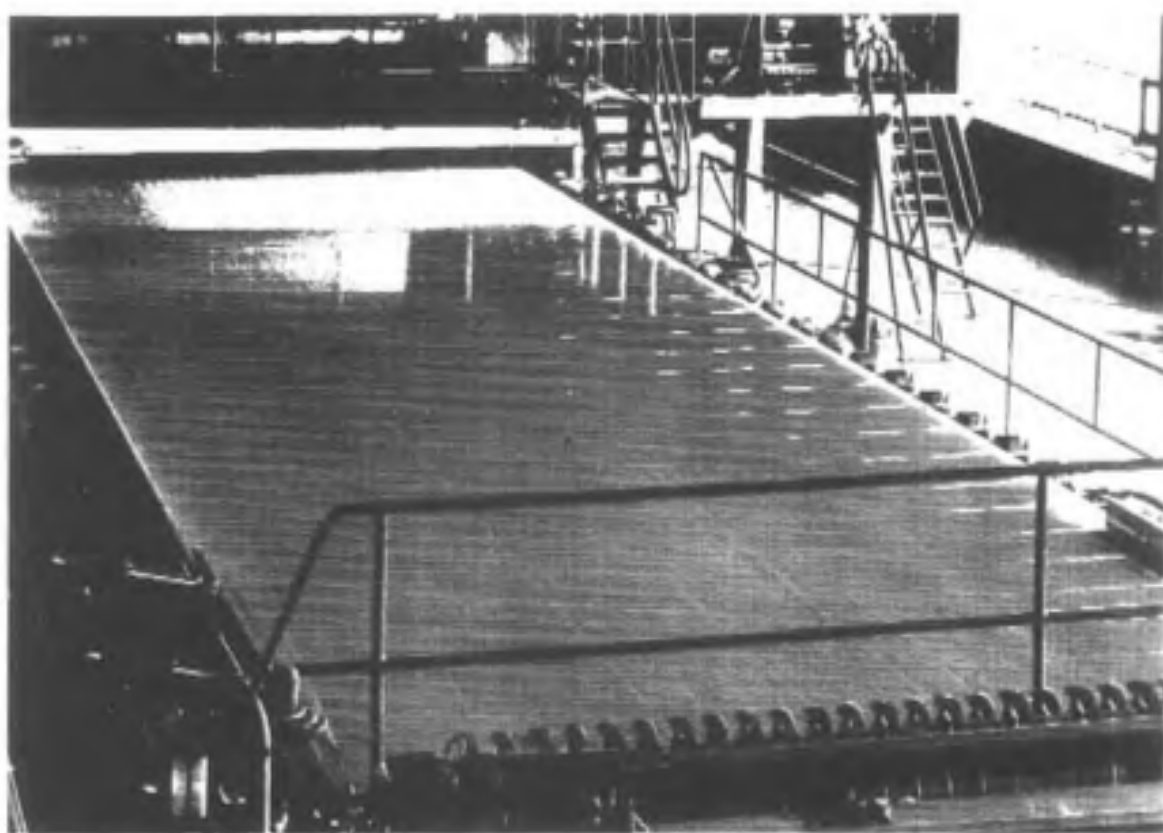


图 16-22 长网机网上显示水线的图片

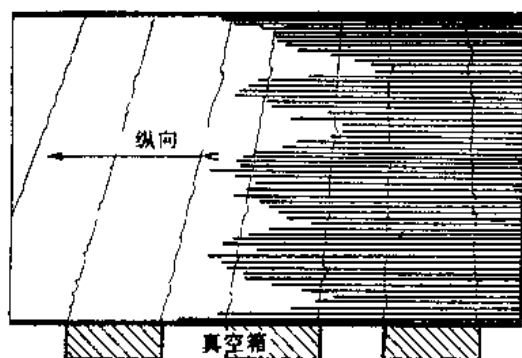


图 16-23 从网边看水线的图片

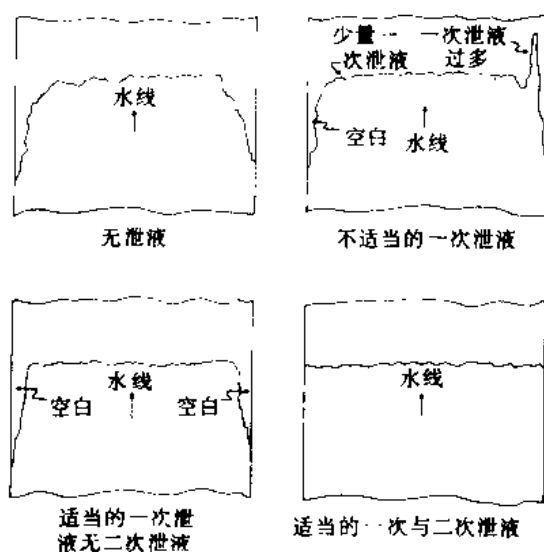


图 16-24 一次与二次泄液对水线的影响

16.4 纸页成形的过程

实验室的纸页成形（或手抄制纸）是简单地在一个细网目筛布上过滤非常稀薄的纤维悬浮液。在长网机网上的纸页成形要复杂得多，除了脱水外，还包括诸如湍动的生成与减弱、纤维状物的形成和破坏、在浆层中细小颗粒的留着与输送、浆层的压紧、以及浆层与游离状悬浮液之间的剪切力等效应。化学和胶体效应则相对较为次要。

Parker 在其经典性的论文⁽⁵⁾中，将纸页成形概括为三个基本水力学过程的综合：即脱水、定向、与湍动，如图 16-25 所示。所有这些过程均同步发生，彼此都不是完全独立的。

脱水过程的最重要效应是纤维悬浮液脱水而形成浆层。当纤维彼此独立地自由移动时，借过滤机理而开始进行脱水，纤维沉积成松散层（图 16-26）。在绝大多数长网成形中，过滤是一个最重要的机理。这从纸页的层状结构和相对较均一的匀度可以看出来。当悬

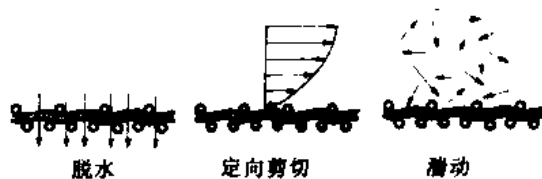


图 16-25 纸页形成的水力学过程 (J. D. Parker)

浮液中的纤维静止不动时, 它们就共同絮凝成互相缠结的网状物; 然后借增浓而发生脱水, 并形成更呈絮凝状和毯状的纸页结构 (也见图 16-26)。

在脱水时抄纸悬浮液自发地形成网状物, 除非浓度十分稀薄 (如在实验室纸页成形那样) 或提供补充的起混合作用的能量 (如湍动)。稀释是对分散很有用的机械作用; 但稀释程度要充分控制住纸机上的絮凝作用。在经济上是不可行的。在脱水期间还必须提供补充的分散作用, 即利用引入成形网下面滤水元件的湍动效应或引入成形网上的剪切装置 (如饰面辊或上成形网)。每个工业性纸页成形器的设计 (无论是长网还是双网), 都施加不同程度的稀释、湍动和定向剪切三个基本的成形效应, 以企图尽量优化纸页质量。

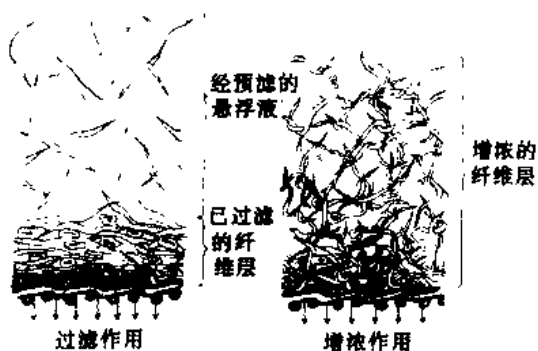


图 16-26 纤维借过滤作用沉积的机理 (J.D. Parker)

16.5 网部 (长网机)

一个典型的长网部示于图 16-27。成形媒介是一个无端的细编织网。直至 20 世纪 60 年代, 只使用金属编织网 (一般为磷青铜材质); 今天则几乎全部都使用塑料网, 因为它们有更长的使用寿命 (延长至 10 倍之多)。但造纸工作者的旧术语将所有编织的成形媒介都称做网, 不管是塑料的还是金属的结构。

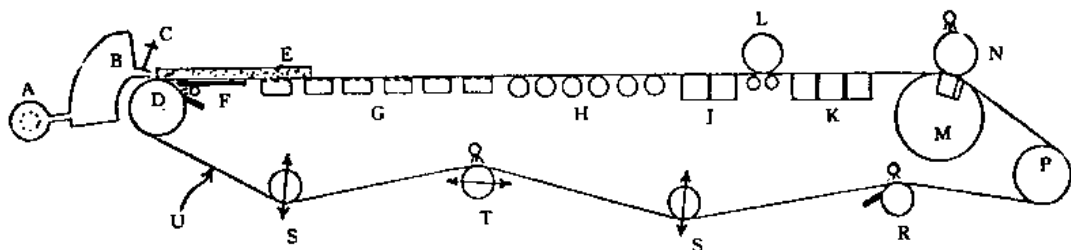


图 16-27 长网机湿部示意图

A—锥形多管进浆管 B—流浆箱 C—堰板与调节机构 D—胸辊 E—橡胶定边板 (只在低速纸机上) F—成形板 G—案板组 H—案辊 J—真空箱 (在饰面辊前控制脱水) K—真空箱 (尽可能多脱水) L—饰面辊, 网下有两个小案辊作支撑 M—真空伏辊 N—小压辊 (改进伏辊脱水与压实纸页) P—转向辊或驱网辊 (协助伏辊驱动网子) R—带水管和刮刀的第一回网辊 S—张紧辊, 上下调节以控制网张力 T—导向辊, 前后调节 (在一端) U—成形编织物或成形网

成形网 (fabric) 在两个大辊中间运行, 胸辊靠近流浆箱, 而伏辊则在另一端。胸辊一般是实心的, 只用于支撑网 (在有些抄纸系统中, 胸辊起到真空成形器的作用)。伏辊有一个中空的带钻孔的外壳, 内部有 1 或 2 个固定的高真空吸引箱, 以脱除纸页水分。转动网部的大部分动力是施加在伏辊和转向辊上的。

在胸辊和伏辊之间的各类元件都具有支承网子和脱水的双重功能。根据特定需要, 可使用许多不同的装置。目前大多数纸机在紧接胸辊后使用一个成形板, 接着是许多刮水板组件。

然后网子经过一系列真空度逐渐递增的装置:从低真空的湿式真空箱到高真空的干式真空箱,最后是高真空伏辊。

回网辊装置将网子带回到胸辊,张紧辊和导网辊用以自动维持正确的张力和消除横向位移。一组喷水管保持网的清洁和去除积垢。

低速纸机(比方说,400m/min以下的)常配以振动机构,使网子横向摆动以改善纸页匀度。这些低速纸机还沿网边配以橡胶定边板以便在最初成形阶段挡住浆料。在高速纸机上由于纸页是瞬时形成,所以不必要用振动和定边装置。

有些长网纸机配有饰面辊(水印辊),它安装在真空箱区域的网上部,并轻压在浆料上。饰面辊上有网布覆盖,用作压实纸页和改进纸页顶部的匀度。有些饰面辊在网面上有花纹,可转移到纸页上,形成水印或其他特定效应。

通常随着纸页离开伏辊从纸幅两边切去一个窄条。该纸边由于定量低且匀度不稳定,一般强度较差,很可能是传递纸幅时断头的原因。切边工作由称为水针的高压水射流完成,该水针恰好位于伏辊前的网子上面。切下的纸边沿转向辊带走并冲洗入伏辊坑中,在坑中它们重新碎浆并在随后加入到损纸浆流。

脱水元件

长网机的网上脱水是借水压差而完成的。水压差除了由网上浆重和堰板来浆的惯性冲击力所造成外,都是同沿网的脱水元件所引起的。在自由脱水区,压差是随着网子经过旋转的案辊或固定的等高支承物,由水力学真空作用力产生。网子继续下行,用各种真空装置除去多余的水分;在某些纸机上还受饰面辊或小压辊的压力。

在网下的第一个固定元件是成形板(图16-28)。该元件在喷浆点支撑网子,因而处于高负载下。面其形状则受胸辊圆周线的限制,水平挠曲必须保持在低水平,以防止成形编织物的打褶。前板必须设计成使成形板能贴近胸辊中心线,这使得有可能为最佳纸页匀度而优化喷浆的角度。一般说,成形板的作用是延缓最初的脱水,以使细小纤维和填料不会穿过浆层被冲走;但成形板组件的长度和开放区必须与纸机速度和所生产纸种的总脱水容量相协调。成形板必须按严格标准制造。

直至20世纪60年代中期,在长网机的自由脱水区内几乎全部使用案辊以脱除水分和固化纸页。这类辊子在早期的长网机上原是用来支撑网子的元件。随着纸机速度的提高,在网与辊间的渐扩角中,因水的抽吸作用显然形成了一个真空脉冲。发现该脉冲所引致的脱水量与网速、辊径和网张力成函数关系,并可借在辊上刻出环形沟纹而使真空脉冲有所减缓。除了真空脉冲外,由于在网下以及案辊周边所携带水的冲击作用,在入口压区(即网、辊交接处——译注)还产生压力脉冲。虽然少量压力脉冲一般认为对“激活”纸页有好处,但在高速度下强烈的压力脉冲和真空脉冲破坏了纸页匀度,并对细小纤维和填料的留着率有

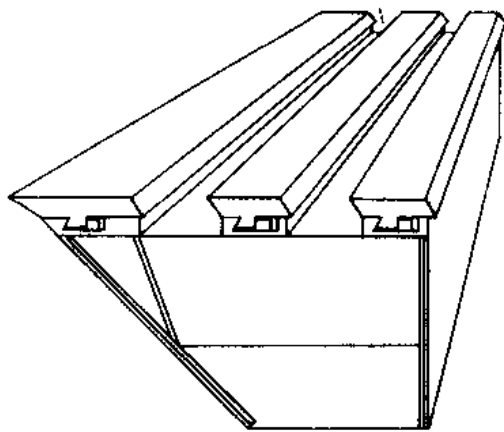


图16-28 典型的成形板结构(Albany国际公司)

负面影响。为了将被抽出到网面下的水移走,必需沿网案在每个案辊后安装一个固定的挡水板。相对于沿网(网上还有真空作用区)不大的空隙区,案辊和挡水板需占据很大位置。

案辊产生的抽吸力是由于辊子与网面的分离,这两者都是移动着的。当网子经过一个特制的带角度的固定表面(称为刮水板或案板)时,因为只有一个表面是移动的,所产生的抽吸力就比较少。但使用固定表面的设想有吸引力,还因为渐扩角全部可以调节且其前端可起到挡水板的作用。新型案板的角度一般为 $0.5^{\circ}\sim 3.0^{\circ}$,角度愈大,真空抽吸力愈大。基本的案板设计示于图16-29。案板有不少设计型式,如可调节角度型、阶梯式角度型、弧面型、或渐扩区斜面型(例见图16-30)。

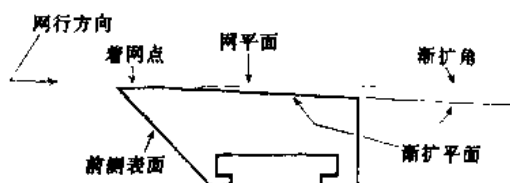


图 16-29 带 T 形支撑槽的基本案板形状

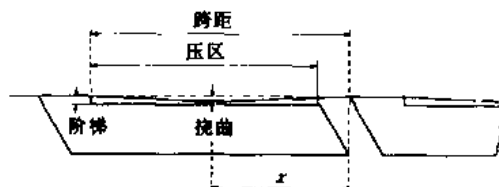


图 16-30 利用阶梯代替渐扩角的所谓“Unfoil”案板装置 (Albany 国际公司)

基本的案板原理在 20 世纪 50 年代就已闻名,但成功地应用一直延至采用了滑动摩擦最小,并能确保网和案板使用寿命的结构材料以后。目前案板在最大磨损点普遍使用陶瓷镶嵌件(例如图 16-31)。案板组件一般含有 3~6 块案板,如图 16-32 所示。

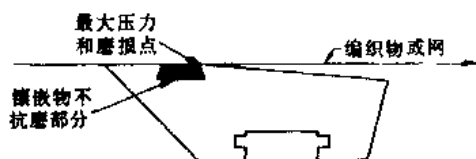


图 16-31 带陶瓷镶嵌物的案板

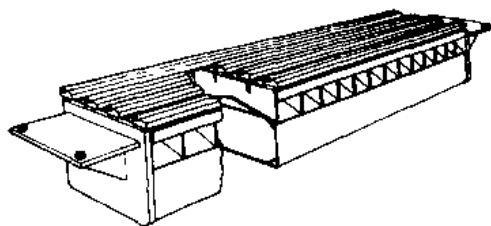


图 16-32 案板元件组合 (Beloit 公司)

案辊、案板和真空案板的作用比较示于图 16-33。案板作用(相对于案辊)的特点在于以较低的压区真空抽力、较长的真空保持时间和更紧凑的布置获取较大的脱水量。通常在案板前沿产生少量正压,但有些设计利用一个辐射式的突出部以提供更大的纸页网面活性。

案辊再往下,使用真空案板组或“湿式真空箱”以保持更高的脱水量。最后,高真空的“F 式真空箱”则用于紧靠真空伏辊的前面。在使用真空脱水元件时,该装置本身以密封水腿形式提供 $500\text{mm H}_2\text{O}$ 以下的真空力(图 16-34)。在上部进入的水是通过在下部一个横向全宽的缝隙(排水处)排出的,与水一起排出的空气是通过一个小真空管抽取。

在高真空干式真空箱时,水、气混合物从真空箱抽出,在纸机后侧进入一个分离器。水流由气压水腿管下到地面的水封槽,空气则被真空泵抽走(图 16-35)。真空箱本身的结构小而坚固以便承受高真空工况。真空箱盖厚约 5cm ,上有孔口(图 16-36)。随着湿纸连续经过真空箱,抽水变得越来越困难。因此对逐渐减小的排水,必须使用逐渐增加的真空度水平。典型的真空箱横幅真空度和排水量示于图 16-37。

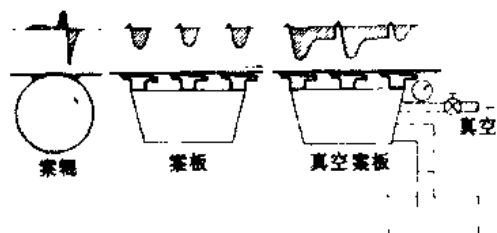


图 16-33 三种脱水元件所获得的
真空抽力分布举例

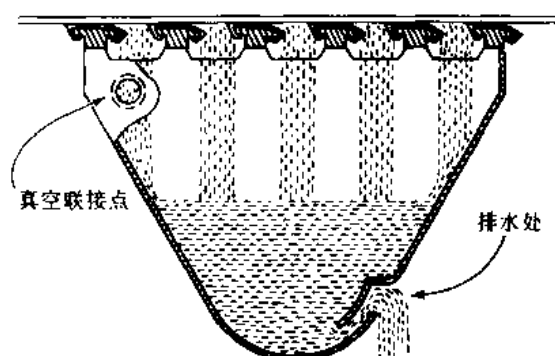


图 16-34 低压头 (250mm 以下水柱)

真空案板组 (Huyck 公司)

注: 1mm H₂O = 9.8Pa

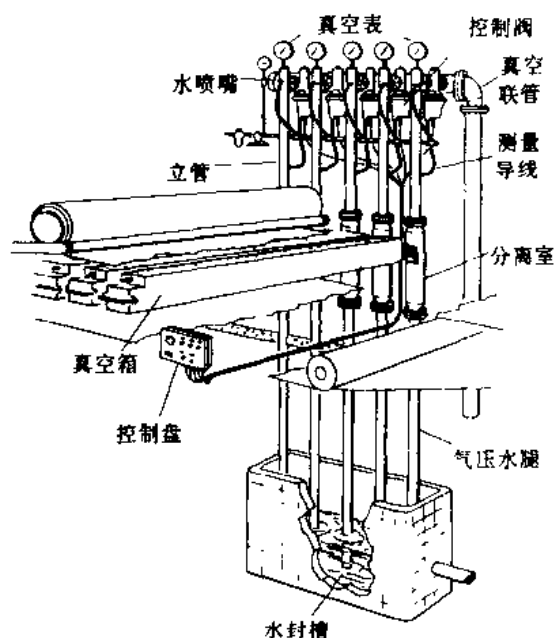


图 16-35 典型的真空吸水箱安装
简图 (Broughton 公司)

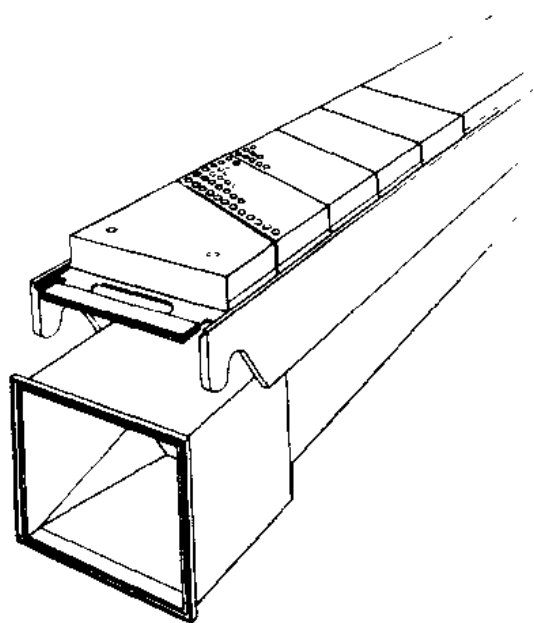


图 16-36 干式真空箱 (Beloit 公司)

成形网

纸机的成形网基本上是由聚酯单丝编织成的网布，缝合成无端的连续环形网。由纵向或长度方向的细线（经线）和横向的线（纬线）所组成。网眼留住纤维而让水排出。传统的编织变数（例如花纹、目数、纱线直径、卷曲程度等）提供了广泛的成形网结构，以适应于所生产的各个纸种。

随着目前双层和三层结构的出现，选择范围已扩展到另一个数量级。在 1983 年，约 90% 的编织物是单层结构，10% 是双层。到 1990 年单层织物只占了总用量的 50%，双层结构占了约 40%，而三层结构约 10%。

描述成形网的功能最好从脱水性能、网截留能力 (Sheet Support) 和机械稳定性等几方

面着手。成形网的脱水性能可通过测量诸如开孔面积、透气度、空隙容积和空隙容积分布来加以表述。但根据纸种的需要,可能要求快脱水或慢脱水,网就必须与纸机上的脱水设备相配合。网截留能力是指网面上所留的纤维和其他配料组分。网截留能力的一个测定方法是单位面积上支承点的数量。机械稳定性与网在纸机上长时间运行而不过分伸展或打褶的能力有关。显然,所有这些网的功能都是相互有关的,优化某个功能也可能以牺牲另一个功能为代价。

每个网均有两个性质截然不同的表面,即成形表面(顶面)和磨损表面(底面)。传统的金属网通常织成所谓三线结构,经线经过一根纬线的上面和两根纬线的下面(参见图16-38)。即有2/3的经线织入底面(或网布的磨损面)。目前的单层织物最普遍的是四线和五线结构,即在一根纬线上面和三根或四根纬线下面(见图16-39)。在单一织物内,双层和三层织物基本上可做到在单个织物内有两种结构形式,即一面设计成有最佳的纸页成形性能,面下面的(即另一面)则设计成有耐磨与功率传递的特性(见图16-40)。

长网机脱水的分布

一般地说,脱水应沿着网子在十分均一的情况下进行,而没有静止区或突然地大量脱水。类似图16-41所示的脱水分布,可以认为是相当理想的。

长网机的脱水作用与抄纸系统(即网结构、脱水元件配置、网速和网张力)有关,还与浆料的温度、浓度、网上浆层厚度和特性(如游离度、助剂等)有关。为了达到一定的目的,脱水元件的配置必须与浆料和网特性相一致。

通常,长网上的浆料应该在施加高真空作用力前,以固定元件和低真空元件进行最大限度的脱水。在低真空条件下脱水,有望减少网拉力和长网机的功率需要,而且也使纸页网印减少到最低程度(见图16-42)。单独用案板脱水的程度似乎主要取决于浆料的游离度和厚度。对粘状新闻纸浆用这类固定元件似乎多数可脱水到2.0%以下浓度。用在厚纸(如食品纸板和瓦楞纸)上就有较大的限制,即难于超过1.5%~1.7%浓度。但对于游离状高级纸浆则不借助真空即可使浓度达到3%以上。

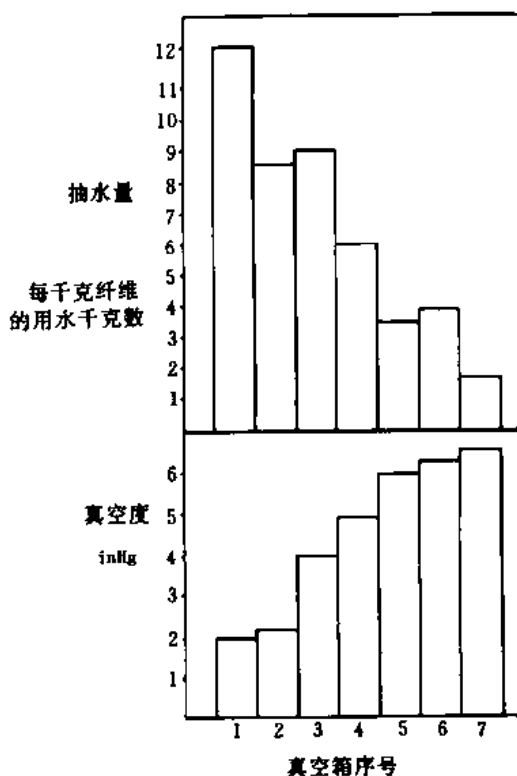


图16-37 吸水箱真空度与抽水量的分布

注: 1inHg = 3.386 389 × 10³ Pa



图16-38 表示金属网在早期脱水阶段的纤维留着情况。注意在网的股线与纤维之间在规格上的差异 (MacMillan Bloedel 研究所提供)

为了进行分析,可将脱水网案分成四个不同区域,如图 16-43 所示。在入口(或混合)区的最初脱水,对良好的纸页性能很重要,而且主要与喷浆角度和成形板位置有关。它一般利用重力脱水,因而十分温和。但如果需要,也可通过适当选择成形板形式,使在成形板上进行更有力的脱水。

在第二区,与微湍相结合的平缓而积极的脱水,给予了良好的基本成形。借适当控制脱水量,可使从纸页底面排走的细小物质降到最低。微湍防止纸页过早的“糊住”网子,从而使纸页脱水畅通及尽量减少网印。

在纸幅成形实际完成后,余下的任务是在不危及纸页的情况下尽可能多地脱水。这可利用逐渐增高的真空抽吸力,首先是用大角度案板,然后用真空案板组(湿式真空箱)。最终,在最后一个区内使用阶梯型案板,以逐渐递增的更高真空抽吸力获取在离开伏辊时最大的纸页干度。

发生湍动与网上的定向剪切力

在网上有点扰动对于使纤维不过早地絮凝并恶化纸页匀度是必须的。但必须指出,网上湍动和剪切力不能代替分散良好的堰板喷浆(即射流);而良好的喷浆却可因无活力的网部而失去作用。利用案板刮刀角度的组合可获得某些扰动,但这往往不容易控制。

提供额外水力剪切的一个方法是使从流浆箱出来的浆流形成脊形浆流。脊形浆流撞击脱水元件时分裂成两个小脊流,这就形成了有助于保持纤维分散状态的剪切力。如果这些脊流具有正确的规格、间距和能量水平,它们对保持良好的纸页匀度是十分有利的。产生脊流的两个可行方法是利用带齿形的上唇板或利用设置在靠近网子处的小喷水射流。

通常所说的 Sheraton 辊(图 16-44),是将湍动引入脱水浆料中的一个新装置。它基本上是带锯齿形(它使网子产生脉

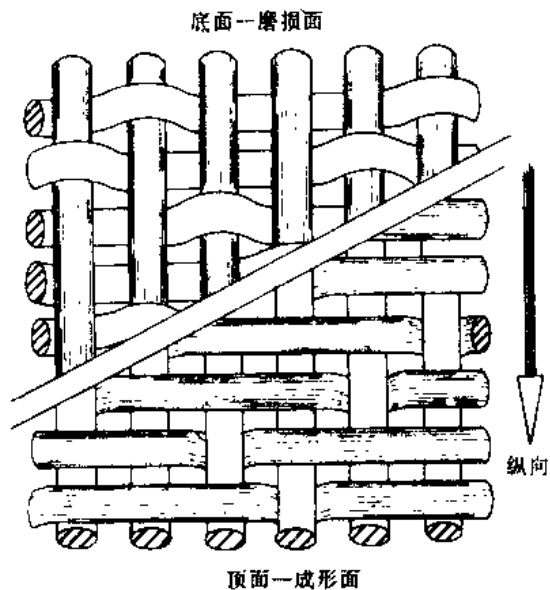


图 16-39 四线成形网结构 (Huyek 加拿大公司)

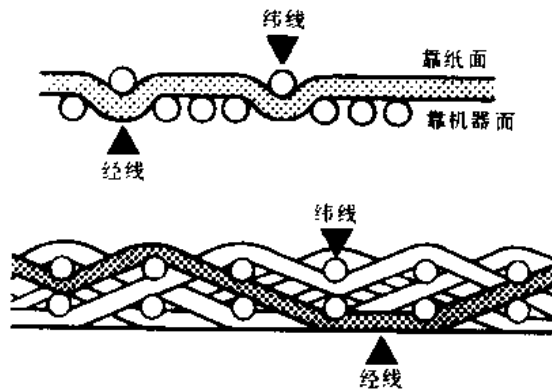


图 16-40 单层与双层成形网的断面图 (Capital Wire)

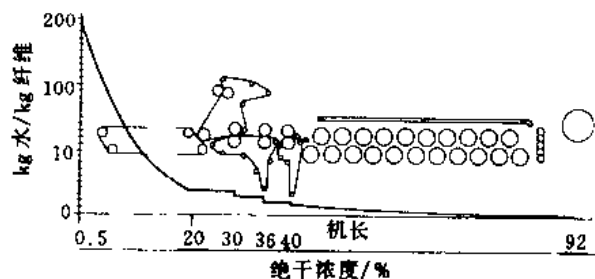


图 16-41 长网机下的脱水分布
(后面是压榨与干燥)

动) 表面的案辊。早期的装置不是很成功, 但最近的研究⁽⁶⁾表明, 如果这种辊子能在某种速度驱动, 而该速度可使辊上面自由脱水的长网部分产生共振频率, 则这种辊子是非常有效的。

在低速纸机上传统的改善匀度办法是饰面辊。饰面辊置于真空吸水箱区的中部, 它对纸页施加一定的压力, 并被纸页和网子所带动。这些饰面辊在破坏絮凝重新调整纸页匀度上是非常有效的。随着纸机变得更宽、速度更快, 饰面辊的直径和挺度都需增加。饰面辊就必须自带驱动装置以使辊速能与网速一致。在有些新型纸机上, 饰面辊速度超过网速达 5%, 从而改善了纸页匀度和表面特性。

当前的大型饰面辊, 为了更好运行, 需要有一个不同布置安排。饰面辊目前被置于更往后的浓度约 2% 的网上, 饰面辊的作用既是脱水装置又是整饰装置。在饰面辊进口侧, 饰面辊与网之间的纸页受到一个挤压作用。被逐出的水分经过纸页进入饰面辊内, 同时又经过网子向下流出; 这个水分的再分配对纤维产生剪切力, 并改善了纸页匀度。新型饰面辊一般包覆有 35~40 目的网布, 网眼中所含的水分被甩入上游一侧的集水盘内。

16.6 双网成形

直至 20 世纪 50 年代, 所有纸和纸板产品, 除了某些薄型纸外都是在传统的长网纸机和圆网纸机上成形的, 这类成形方式对进行高速抄造与改进产品质量 (特别是多层纸板) 方面所存在的固有局限性, 促使开展进一步的研究开发工作。自从 D. Websfor 在 1953 年发明了第一台新型双网成形器 (twin-wire former) 后, 已有许多双网成形的结构引入并应用于各种用途。

新型双网成形器可根据用途大致分成下列几类:

- 长网替代型——夹网成形器 (gap former) (又称缝隙成形器)。
- 长网改良型——复合型成形器 (hybrid former) (又称叠网或预成形器)。
- 多层成形器。
- 薄型纸成形器。

有些成形器又可分成一种以上的类型。本章主要讨论长网替代型与长网改良型。多层成形器在 19 章讨论, 薄型纸成形器在 20 章讨论。

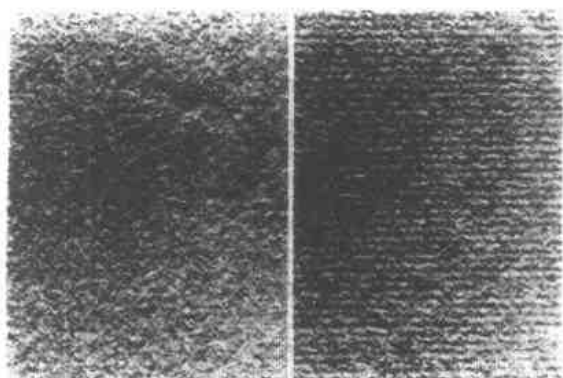


图 16-42 借反射光观察新闻纸正面与背面 (网面) 的放大图, 注意背面所压出的网印 (MacMillan Bloedel 研究所)

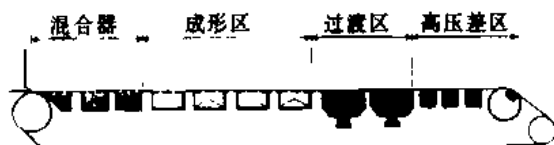


图 16-43 网上脱水可分成四个区 (Beloit 公司)

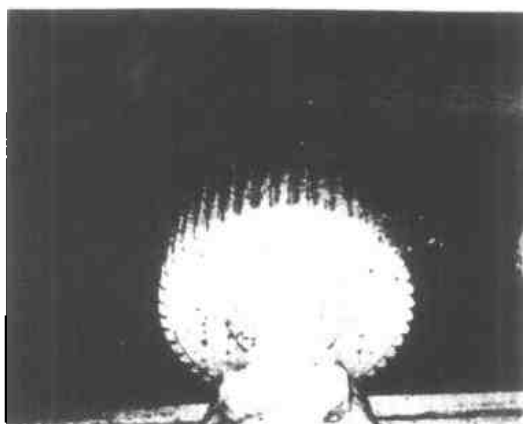


图 16-44 安装在纸板机上的 Sheraton 辊

必须注意,传统的长网系统在双网成形器发展的 40 年期间,已经有了变革与改进。长网机湿部保持了一个有活力的成形系统,而且仍是生产某些纸种的最佳选择。

长网替代型(夹网成形器)

在真正的双网成形器中,流浆箱堰板的射流喷入两张网之间的聚敛形隙缝中。根据特定的夹网成形器设计,最初脱水可以在一个或两个方向发生。脱水作用是借两网张力与网外脱水元件所引起的压力而造成。随着在两网面上的浆层的积聚,脱水阻力增加,纤维悬浮液中的压力也随之增加。成形区域的长度除两网张力与脱水元件配置外还与纸机速度、定量和浆料游离度有关。分散均匀的流浆箱来浆对夹网成形器来说是至关重要的,因为射流(喷浆)几乎立刻被定位和形成纸页,所以喷射角也比长网机更为重要。

夹网成形器有三种结构:

- 刮板成形器 (blade former)。
- 辊筒成形器 (roll former)。
- 辊筒/刮板成形器 (roll/blade former)。

在刮板式成形器中,聚敛形网两侧各用挡水板控制会聚率,还将多余的水导入白水盘。一个典型的夹网刮板成形器示于图 16-45。而在辊筒式成形器中,两个网是在它们包绕到一个以上的起主要脱水作用的辊筒上时会聚的。一个典型的辊筒成形器示于图 16-46。辊筒/刮板成形器见图 16-47。

各种不同结构都显示其特有的优点和缺点。例如,刮板式成形器这一类似乎匀度要比辊筒成形器好,但留着率较低,传动功率需要较高。这是因为在刮板式成形器中的脱水作用力更为剧烈,这些作用力因使剪切作用导入絮凝块而对匀度有积极效应,但对单程留着率则有负面效应。由于对每一代成形器的设计作了不断的改进,它们之间的差别似乎越来越小了。

长网改良型(复合型成形器)

复合型成形器(又称预成形器或叠网成形器)已成为夹网成形器提高车速、改进匀度和减少两面差的一个普遍的低成本备选方案。多数复合型成形器是现有长网机的改良装置,因此它们有时称为改良型成形器;但复合型成形器这个术语更好些,因为不是所有的装置都是改良型的。所有这类成形器的特征都是在进入双网成形前有一段“敞网(open wire)”抄造的预成形区。在双网成形区段中,纸浆悬浮液经受到脱水的压力,该脱水压力是借辊筒上网张力、弧形表面、或刮板、或借真空力面形成。

有些纸机制造商目前提供两成三种不同设计的复合型成形器,每种都能在产品定量、车速和具体需要方面满足一系列要求。两种 Beloit 公司的设计展示出这种多样化的例子。示于

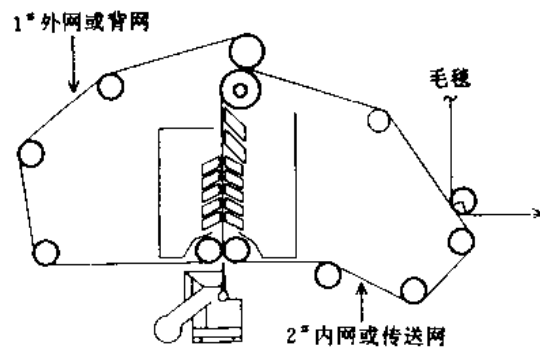


图 16-45 刮板式夹网成形器 (Black Clawson 公司)

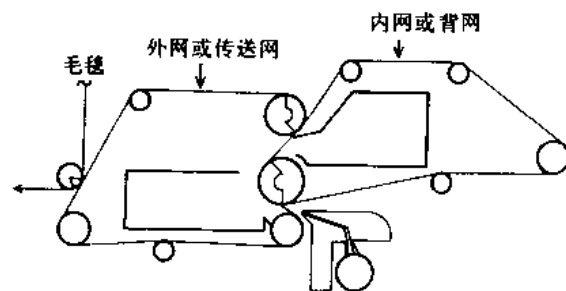


图 16-46 辊筒式夹网成形器 (Voith 公司)

图 16-48 的 Bel-Bond 是一种真空成形器,它利用回转半径上方的聚敛网楔形口将表面水分转移到顶网内,再用真空抽去。Bel-Bond 有可能除去 50% 以上的流浆箱液流,而一般分配为上部 40% 下部 60%。示于图 16-49 的 Bel-Roll 是一种辊筒式成形器,随着聚敛网楔形口移经一个辊筒组件进行双面脱水,从纸页排出大量的水分。随后包绕实心辊借离心力迫使挤出多余水分。Bel-Roll 的位置距流浆箱更远一些(与 Bel-Bond 比较),可处理流浆箱 40% 的液流。

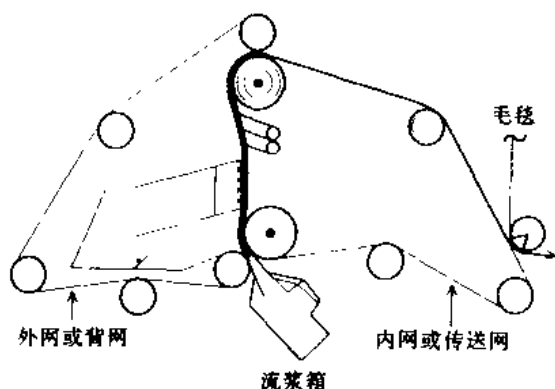


图 16-47 辊筒/刮板式夹网成形器 (Valmet 公司)

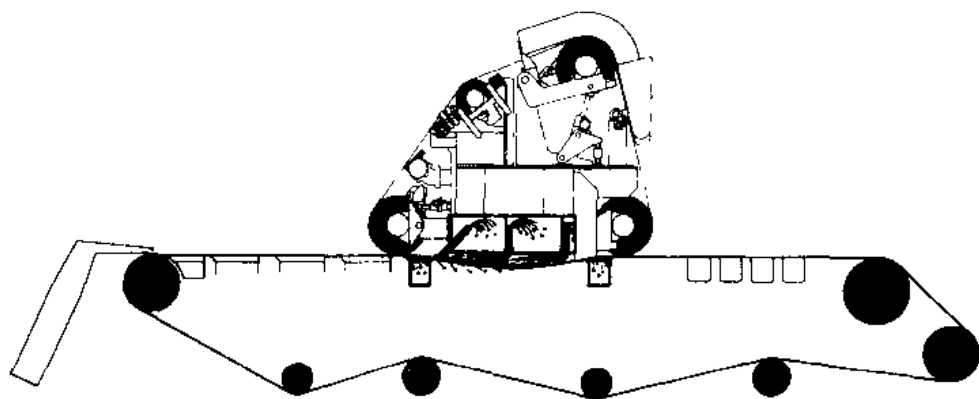


图 16-48 Bel Bond 复合型成形器 (Beloit 公司)

复合型成形器通常已等于或超过了预期的希望并给老长网机以新的生命力。改良型成形器给管理部门和操作人员提供了一个使用双网成形而又没有完全长网替代型那样的风险。因为在长网机上的纸页成形过程是一个渐进的滤水过程,已部分成形的纸幅,在近网处有很高浓度,而在纸页正面则保持接近于流浆箱浓度。在网案缺乏高度湍动或剪切时,接近纸页正面的浆料的再絮凝,是一个重要的抄造问题。大多数叠网(顶网)成形器借在引入第二张网的交接处所产生的高剪切力,而改善了纸页的匀度。

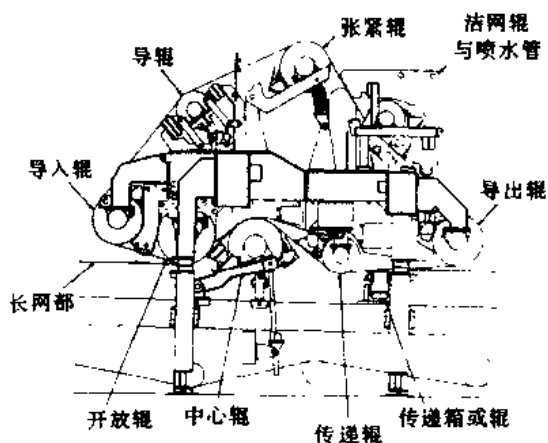


图 16-19 Bel Roll 复合型成形器 (Beloit 公司)

16.7 白水系统

白水是在制浆和抄纸生产中从湿浆料排出的(与颜色无关)。除纤维外,白水还可能含有各种从配料带来的其他物质。白水根据纤维含量可区分为浓白水或稀白水。这种分类有很大

随意性,但多数的情况下浓度超过 0.01% 或 0.02% 的可称为浓白水。在任何抄纸过程中,网上喷浆区(即着网点),其白水浓度最高,随着在成形网上浆层的形成而逐渐变稀。

图 16-50 显示出一个传统的、封闭得很好的长网机白水系统。从静态和低真空脱水元件排出的浓白水收集在网坑中并随即在流送系统进行再循环。水封坑(seal pit)分隔成两部分以便于将较浓的水封坑白水作为网下白水池的补充水或浆料制备系统的稀释水。只有从水封坑来的最稀白水才从系统排出,并首先送去纤维回收装置。虽然在图上没有表示出来,全部白水系统还包括诸如将澄清白水用作网与毛毯的喷水管、压榨部水、真空系统水、冷却水等。

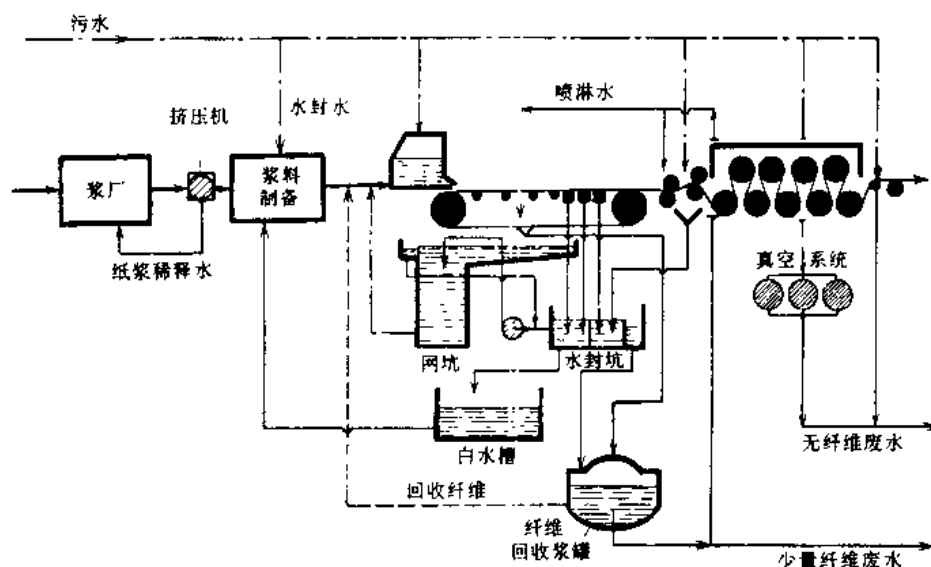


图 16.50 封闭良好的白水系统

现代纸机的白水系统必须达到若干重要的目的:

- 在各类纸机的正常运行和发生故障期间提供质量合格的充足白水量。
- 确保流浆箱浆料的细小物质含量经常没有显著变化,以使操作故障降到最低,并维持均一的产品质量。

- 最大限度地回用白水以减少纤维和能量的损失并将废水负荷降至最低。

为了达到上述目的,建议将下列操作原则作为成功地管理纸机白水的基础⁽⁷⁾:

- 尽可能经过最短的路程将细小物质(即细小纤维与填料)送回流浆箱。
- 保持完全独立的损纸处理与细小物质回收系统。
- 提供充分的白水贮存量以调节浆槽浆位的波动。
- 只将多余的清(经过滤的)白水排沟。
- 尽量减少白水回收系统的负荷波动。
- 纸厂中每台纸机都应有独立的白水系统。

当前倾向是白水系统趋于更大的“封闭”,以减少进入系统的清水量⁽⁸⁾。部分通过使用清水用量少的设备和部分通过回用经过滤的白水,可以达到此目的。不含纤维的冷却水也可单独收集,或作为新鲜水回用,或直接外排去江河水体(Receiving Water)。

20 世纪 80 年代期间,许多纸厂将新鲜水用量成功地减少了 80%~90%。这样高的封闭

(在伏辊坑)是绝对必需的,干部碎浆机则要求处理从烘缸、压光机、卷纸机和复卷机来的废纸。在领纸和纸机断纸期间,这两个系统必须具有处理来自纸机的最大产纸量的能力。同时这两个系统还要连续处理小股损纸(如湿部的伏辊切边,干部的复卷机切边和废纸)。系统的另一个特征是要有足够的损纸贮存能力以支撑长时间的生产不正常。从损纸贮存槽来的受控浆流经过混合系统重新成为纸机配料。

这项工作在湿部比较简单,因为此时湿纸页很容易碎解,所需停留时间很短。示于图 16-54 的系统,应用于从网部和压榨部直接排出的损纸(有些压榨装置必须将湿纸页从压榨辊刮下并用螺旋输送到纸机侧边,才能使损纸进入溜槽去伏辊坑)。可使用各种形式的搅拌器,一

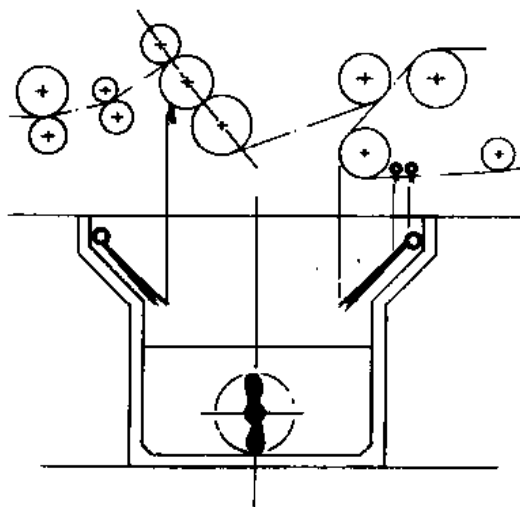


图 16-54 处理湿部损纸的伏辊坑
(Black Clawson 公司)

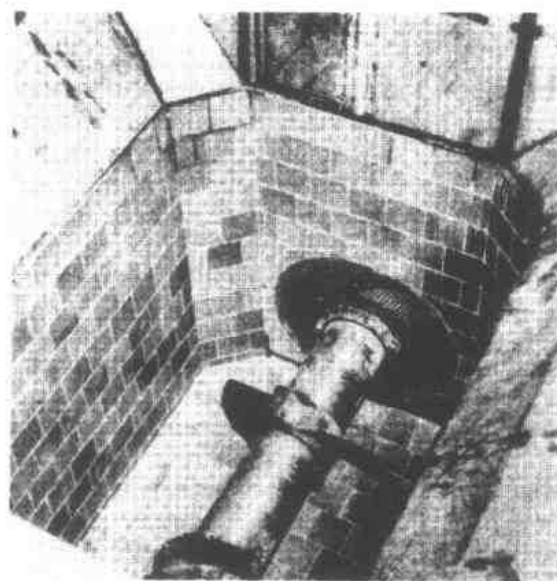


图 16-55 伏辊坑的典型碎浆机
(Black Clawson 公司)

般通过带孔板抽浆(图 16-55)。在正常操作时使用小容量喷水管和小容量浆泵。在断纸时,大容量喷水管自动打开稀释浆料。当伏辊坑达到预定液位时,打开大容量浆泵以与进浆的同等速度将稀浆抽出,并送去贮浆槽。

在干部(例如图 16-56 和图 16-57)的损纸系统功能根据同样原理。但要使用大功率搅拌器和疏解装置(图 16-58),在碎浆装置中的停留时间要长一些。多数这类装置不定期地用纸浆悬浮液的再循环以协助破碎纤维束和防止“浮浆”(即集聚在表面的浆料)与堵塞。

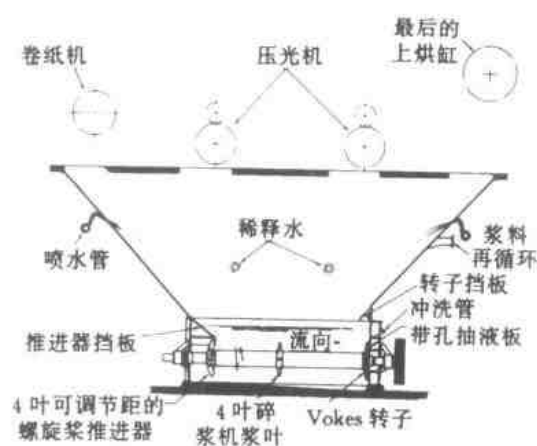


图 16-56 干部损纸处理装置
(Black Clawson 公司)

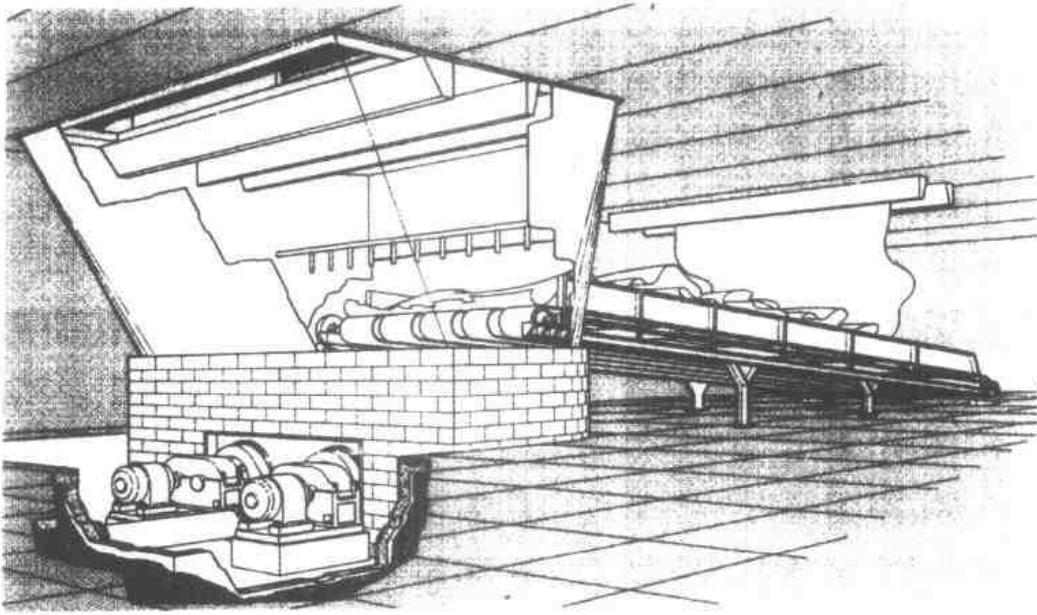


图 16-57 有些干部损纸处理系统利用输送机从干燥系统内的施胶压榨或其他地点运送损纸

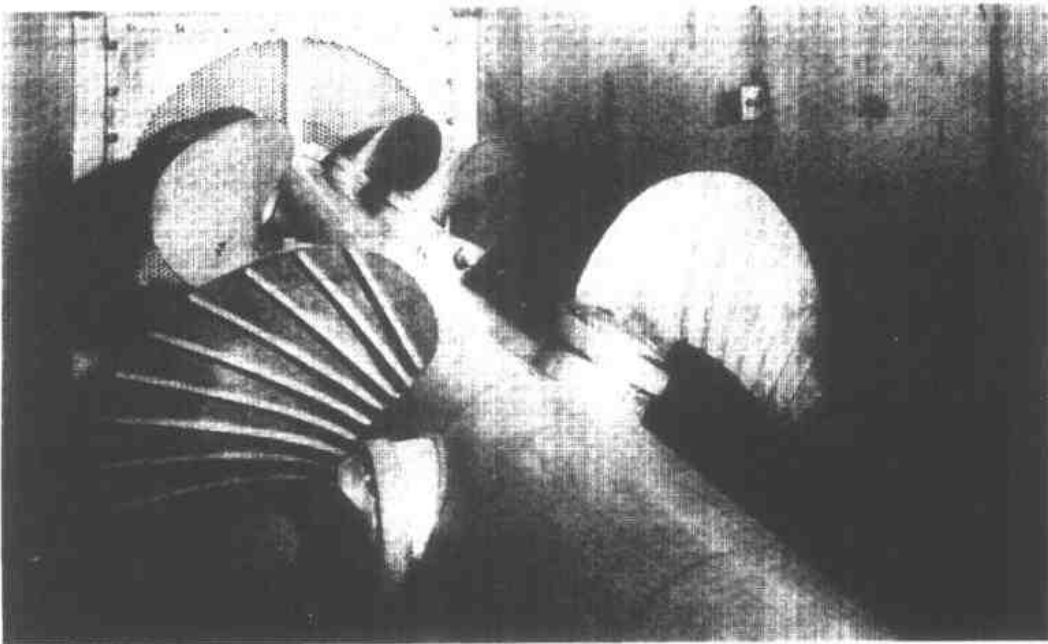


图 16-58 典型的纸机干部损纸碎浆机 (Impco/Ingersoll Rand 公司)

16.9 压榨部

纸机压榨部的主要目的是从纸页脱水并使纸幅固结。其他目的（根据产品需要）为：提供表面平滑度、降低松厚度和使湿纸页有更高强度以改进干燥部的抄造性能。较脆弱的纸幅从成形部传递过来，并在特制毛毯上经过一系列压榨辊压区后进入干燥部。

压榨工序可看作是从网部开始的脱水过程的延伸。利用机械方法脱水比利用蒸发方法要经济得多,所以造纸工作者总是寻找提高压榨效率和降低进入干燥部蒸发负荷的办法。纸机横向的脱水作用应该均匀一致,以使经压榨后纸页进入干燥时有均一的水分分布。

纸页固结是抄纸过程的一个关键阶段。因在压榨时纤维被迫紧密地接触,使得在干燥期间纤维与纤维间的结合力得以增进。而如果是在干燥以后固结,产品就将总是脆弱和松散的。图 16-59 的显微照相剖面图显示了在第二与第三压榨之间发生固结的纸页与经压光后纸页的比较。

在压榨期间纸页水分含量一般以浓度或干度表示。读者应该记住,干度变化并不是水分含量改变的一个很好的表示方法;较好的表示方法是水与纤维之比。例如,离开压榨的纸页干度从 40% 改变为 41%,可以计算为干度增加 2.5%。实际上,水与纤维之比在 40% 干度时为 1.50,而在 41% 时为 1.44,所以真正的干度变化为 $\frac{1.5-1.44}{1.5}=0.04$ 或 4.0%。4.0% 的数值与 2.5% 完全不同,显示出在压榨时 1% 干度改变的真正重要性。

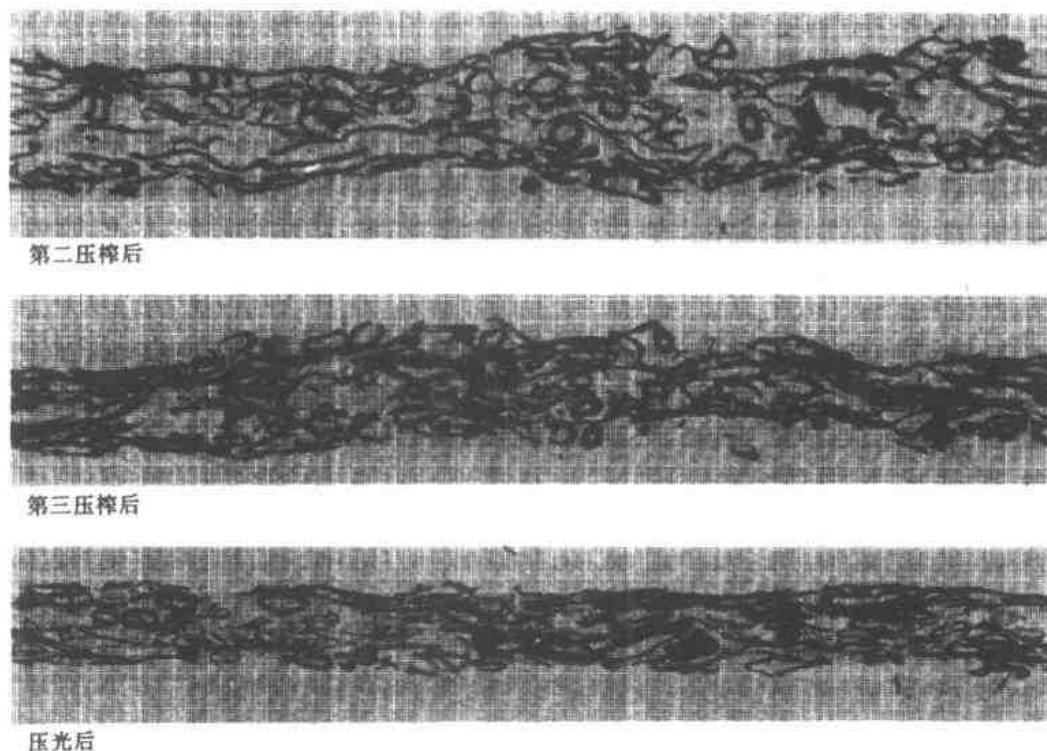


图 16-59 新闻纸横截面的显微照相图,示出纸页的固结与压缩
(MacMillan Bloedel 研究所提供)

在压榨压区发生了什么?

实际上纸幅的所有连续湿压榨都是在双辊压榨的压区间进行的。在压榨期间纸页被带入压区并被毛毯所承托。最先由 Wahlstrom 所阐明的压榨基本概念,已逐步由 Wahlstrom^(9,10) 和其他人所改善。现在压榨基本上被看作是一个流动现象,该现象受纤维间的和来自纤维细胞壁的水流所控制。

为方便起见将压榨过程看作是 4 个阶段,如图 16-60 所示:

●在第一阶段,纸页和毛毯开始压缩;空气流出此两个结构直至纸页达到饱和水分;纸页中水压力还不大(因而没有脱水的推动力)。

●在第二阶段,纸页水分饱和,纸页组织内水压力上升,使水由纸页转入毛毯。如果当毛毯也达到饱和时,水从毛毯排出。第二阶段一直持续到压区中部,此时总压力达到最高。一般认为在压区中部前,水压力就已达到最高。

●在第三阶段,压区开始扩大,直至纸页中水压力为零,相当于纸页干度的最高点。

●在第四阶段,纸页和毛毯开始扩张,纸页变成不饱和状态。虽然在纸页和毛毯中形成了负压力,有许多因素又使水从毛毯返回到纸页。

上述这种压榨过程的描述加深了对压榨中重要因素的了解。例如,当毛毯受压挤出水分时必须要有足够透气度。随着毛毯本身的饱和,需要有若干接水器来接受毛毯挤出的水。据此,毛毯制造商设计的毛毯应能在高压区负荷下保持一定的透气度;纸机制造厂要为辊子和附属设备提供各种形式的接水器。

纸页在第四阶段重新从毛毯吸收水分被认为是对理想脱水状态的严重制约。设想过好几个回湿的机理,包括毛细管吸收和物理性吸收。已经知道除非纸页和毛毯在经过压区后立即分开,否则肯定会发生回湿;所有新型压榨设计都提供了这种立即分开的条件。

压榨的制约因素

每个压榨压区均受到效率的制约,即水流出纸页或压区的速度有多快(流动制约型)或纸页可能压缩的程度有多大(压力制约型)。一般说,如果纸页很容易脱水且从压区脱水没有障碍,或如果纸页含水量很低,就可无条件地对纸幅施加相当高的压力。在流动制约型压区施加过高的压力涉及到纸页压溃。在情况最严重时,纸页压溃引起纸页的碎裂。但更经常的是,这种现象局限于冲洗掉细小物质、重新排列纤维和将纤维冲洗入毛毯中。

压榨经常在一组压区中(一般为三个)进行,每个压区的压力逐渐递增。第一压区在某种程度上几乎总是流动制约型的。最后一个压区的效率则只受可施加压力大小的制约。至少在理论上,如果压力可呈数量级地增加,可使脱水量显著增加。但随着纸机速度的增加,由于在传统辊式压榨压区停留时间很短,将使提高压力的效应大减。脱水实际上与压区脉冲(时间/压力曲线下的面积)成对数函数关系。

关于压榨的一般原则

纸页和毛毯在两个迴转的压辊间受压。通常,上辊的机械加压形成压区内所需的压力。在垂直压榨装置中,压区线压是机械加压与上辊重力的总和除以压榨压区接触面的长度(若干反压榨和复合压榨装置中不考虑“配对辊”重力的因素)。压区的实际压力曲线示于图16-61,其最高值取决于几个因素,即线压力、压辊直径、压辊硬度和毛毯特性。

在单毛毯压区中,纸页的一面通常与光滑的硬辊(一般为花岗石或人造石)相接触。有时也用挂胶或不挂胶的实心金属辊。与毛毯接触的压辊通常用弹性材料挂面以控制压辊硬度。

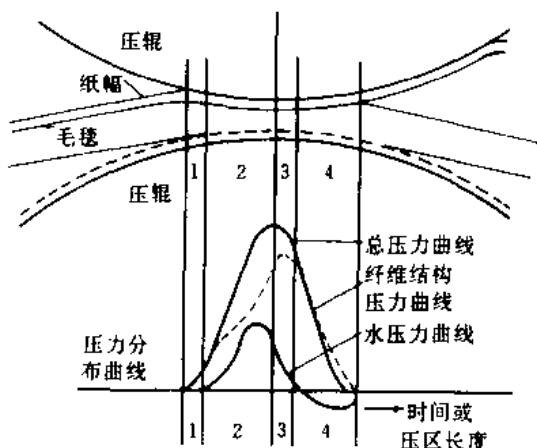


图 16-60 在压榨区中的四个阶段

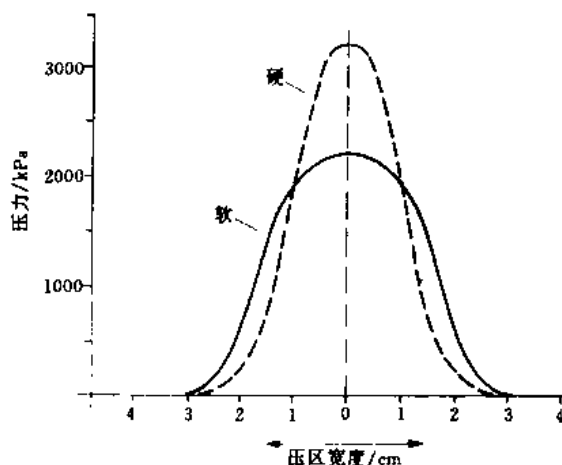


图 16-61 利用硬辊和软辊（负荷为 45kN/m ）的压榨压区压力分布

略带弹性的挂胶可在生产高定量纸种时“软化”压区，或在生产低定量纸种时使用特硬橡胶挂面以获得一个狭窄的压区。

由于压辊在加压下挠曲变形，必须将一个或两个辊弯成弓形或加工出“中高”，以使整个接触面获得均一的横向压力分布。所需中高量跟辊径、壁厚、长度、结构材质和施加的负荷成函数关系。固定的中高（通常由研磨辊子获得）只适用于某个加压负荷。中高正确和不正确对压力分布的影响示于图 16-62。

抄造很多不同定量和纸种的纸机，通常使用可控中高辊，以便在不同的压榨负荷下获得均一的压区条件。可控中高辊有好几种类型，其中两种设计示于图 16-63 和图 16-64。大多数设计采用液压装置以改变转动壳体对固定轴的挠度。

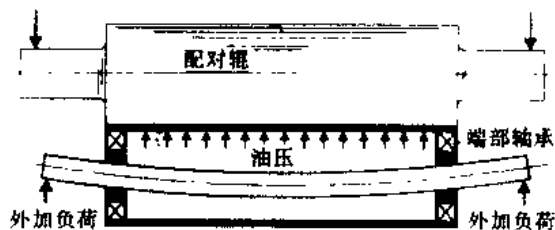


图 16-63 游泳辊利用其上部空腔内的油压，矫正转动壳体对固定轴的挠度

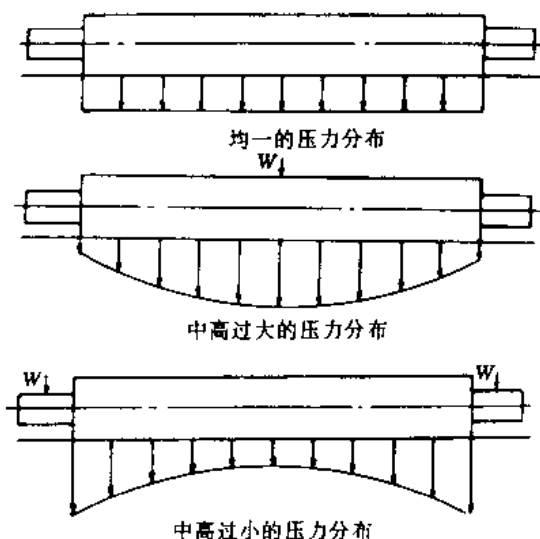


图 16-62 虽然压辊中点的中高量仅为 1.3mm ，微小的中高过大或过小，均将影响压力分布

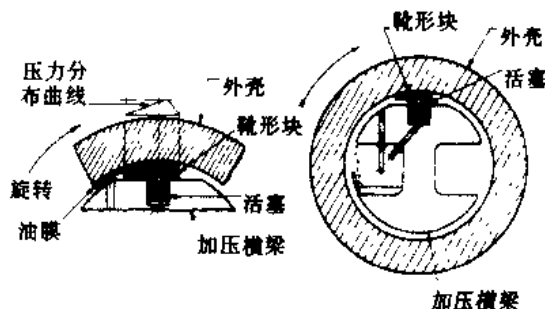


图 16-64 Beloit 可控中高辊利用一个以润滑靴形块对着转动壳体的液压装置

通常整个辊子都要均匀受压,以便使进入干燥部的横幅水分比较一致。但有时由于成形部的脱水不均,或其他问题,希望用不均一的压榨作用来加以弥补。在这种情况下,可使用横向可变挠度(即分区可控)的可控中高辊。图16-65和图16-66是其中的某个设计。能被矫正的“条斑”宽度受到压辊抗弯性能的制约(分区喷淋蒸汽也可能是正确分布的一个好方法将在以后讨论)。

压榨型式

对湿压榨的基本研究已表明,压榨设计中最主要的要求是,提供从压区脱水的最短路径。最短的距离即等于毛毯厚度(通常称为“垂直”方向)。因此主水流应与毛毯垂直,而且侧向流动(lateral flow)应该最少。主要是垂直流动的压榨称直流压榨(transverse-flow press)。

原先的压榨都是平压辊。这类压榨由于水只能借横向流动从压区入口侧排出,使水的流动受到严重限制(参见图16-67)。

早在19世纪研制出来的真空压榨是首次开发的直流压榨。该设计利用一个真空辊(一个带孔眼的壳体,绕固定真空箱而旋转)作为挤出水的接受器。壳体上的孔眼(图16-68)提供了脱水的便捷通道(与平辊压区相比较)。有些水可直接流入孔眼,但(可在图中看到)大多数挤出的水还必须作侧向移动离开压区。真空压辊在许多纸机上仍在使用,但带孔眼的中空壳体构造限制了所能施加的压力。而且,真空辊的应力疲劳性损坏是多年来的一个老大难问题。

1963年推出了沟纹辊的直流压榨。如图16-69所示,辊子挂面层上的沟纹极易承纳纸页排出的水。螺旋状切铣的沟纹,一般深度2.5mm,宽度0.5mm,中心距3.2mm,即每2.5cm 8条沟纹。沟纹压榨上最大横向流动距离为1.3mm,而真空压榨和普通平压榨则分别为5mm和20mm。因为沟纹辊是实心的,可使用较高压力。存在于沟纹中的水在辊子的高表面速度下,借离心力甩出,辊子用喷水器和刮刀保持其洁净。沟纹辊挂面必须很硬以保持沟纹的完整性。

另一种改进的真正直流压榨是利用盲孔压辊。只有实心辊的挂面层钻有很多小而靠得很近的孔眼,与沟纹辊(图16-70)比较,盲孔辊有较大的空隙容积,且因为很少像沟纹辊那样堵孔,可在较软的辊面上钻盲孔。凹坑可借离心力作用自净,典型的盲孔压榨装置示于图16-71。

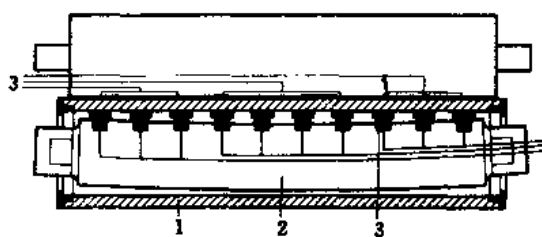


图16-65 Escher-Wyss Nipco 辊利用分区控制的液压元件控制作用力的分布

1—转动壳体 2—固定横梁 3—活塞元件

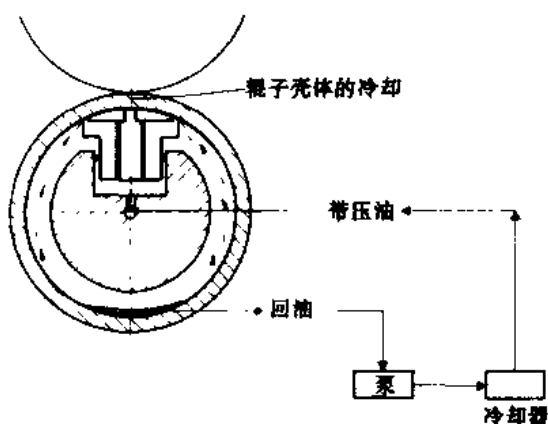
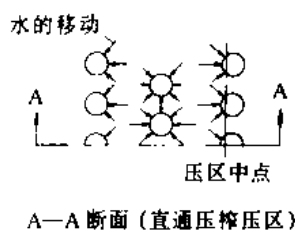


图16-66 显示 Nipco 辊的操作原理,带压油进入液压元件下方,通过小油管到达顶部。当它从元件边沿上冒出时,就在壳体与元件之间形成一层润滑油膜



图16-67 平压榨压区的示意图,从纸页与毛毯挤出的水只能利用侧向移动在压区入口侧离去(Beloit公司)

还有一种直流压榨是衬毯压榨 (fabric press), 在欧洲用的比北美多。其原理示于图 16-72。多层编织的、不可压缩的编织带 (衬毯), 通过毛毯与挂胶辊之间的压区时, 提供了可容纳挤出水的空隙容积。在衬毯回程中借真空箱将衬毯中积存的水排除。套毯压榨 (shrink sleeve press) 是改型的衬毯压榨, 只利用一个不可压缩的毯套缩装在压辊上, 以提供空隙容积。新型的高空隙压榨毛毯结构, 已减少了安装单独的、不可压缩衬毯或套毯的好处。



在第一压榨 (即流量制约型压榨) 图 16-68 在真空压榨中水的侧向流动在两个视图上均可看到

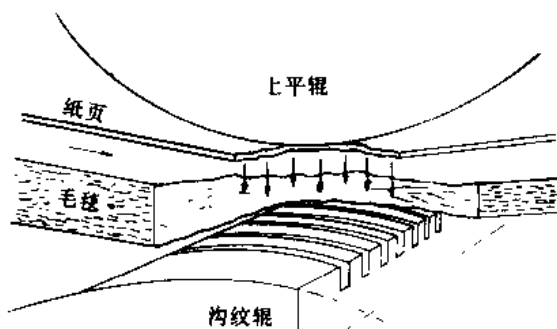


图 16-69 沟纹辊压榨压区示意图显示沟纹如何提供了挤出水的排出口

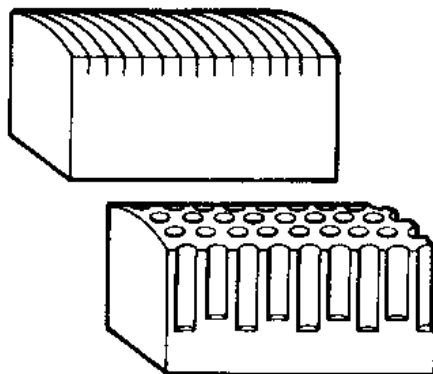


图 16-70 从切块比较看出，盲孔辊比沟纹辊的空隙容积更大

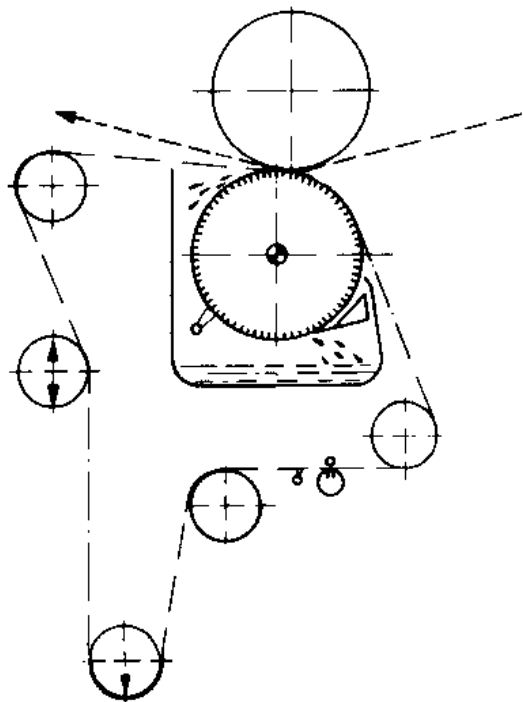


图 16-71 盲孔压榨装置

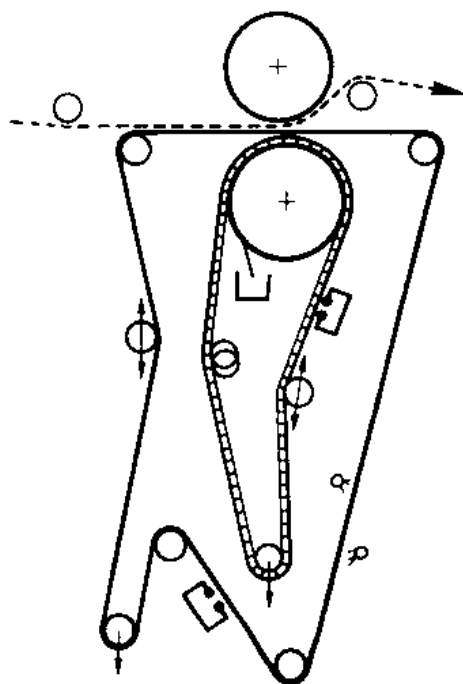


图 16-72 衬毯压榨装置 (Albany International 公司)

处最有效的策略,是使用双毛毯和双面脱水的压区(即上下两个位置是沟纹辊或盲孔辊),如图16-73所示。这种装置在两面脱水,所以减少了侧向移动的距离。双毯压榨也可用作定量 $130\text{g}/\text{m}^2$ 以上纸页的第二和第三压榨。

1981年又推出了最新型压榨,即宽压区压榨(Extended-Nip Press)。这种压榨的特点是有很宽的压区,纸页在高压下有较长的停留时间。当将这种压榨使用于最后一个压区时,由于改进纸幅结构的固结性,不仅提供更干且更强韧的纸页。用以获取宽压区的结构示于图16-74。其关键部件是固定的靴形加压板(pressure shoe)和不透水的合成胶带,它们组成双毯压区的底面部分。靴形板用润滑油连续润滑,其作用好似胶带的“滑动轴承”。

宽压区在25 cm长的靴形板上平均加压 4100kPa ,相当于用正常压榨方法压到 $1050\text{kN}/\text{m}$ 。很低的压力再加上可控的压缩率,减少了纸页压溃的可能性。由于压力维持很长时间(直至传统压辊压榨的8倍),这就实现了脱水方面的一个重大跃进(参见图16-75)。宽压区压榨到目前为止,只用于高定量纸种。(现在已使用于新闻纸译注)。

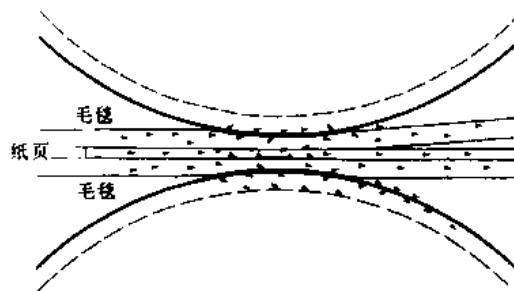


图 16-73 两面为沟纹辊的双毯压区
(Beloit 公司提供)

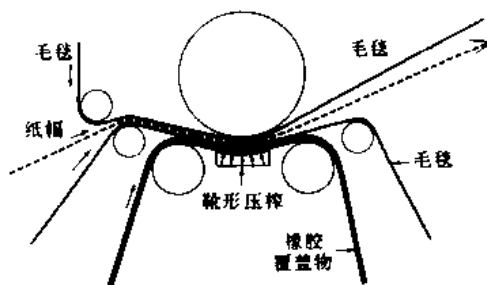


图 16-74 宽压区压榨装置 (Beloit 公司)

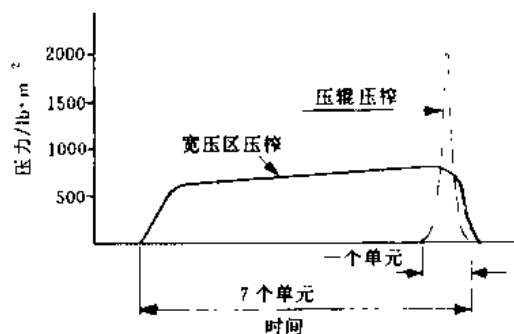


图 16-75 压区压力分布的
比较 (Beloit 公司)

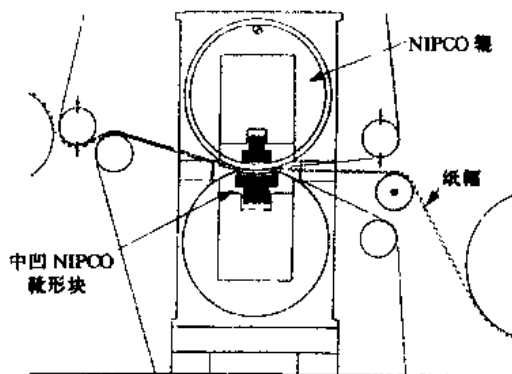


图 16-76 靴形压榨 (Sulzer
Escher Wyss 公司)

由于Extended-Nip压榨的推出,其他制造商已开发出了他们自己的宽压区靴形压榨设计,这些设计也提供高纸页干度和良好的纸幅固结性。其中一个设计(示于图16-76)利用一个柔性辊壳内含凹靴形板的下辊,其上辊为可控中高辊。

纸页从网部传递到压榨部

最初所有纸机的纸页,从成形部传递到压榨部都是开放式的。一种开放引纸的结构示于

图 16-77。将湿纸幅剥离所需要的张力是由压榨部与成形部之间的速差提供的(湿纸在拉伸时产生张力。但正如其他粘弹材料一样,张力随时间而迅速衰减。对于以后的每一个开式引纸,必须借外加的两个部之间速差重新施加纸页张力)。开放引纸一般用于高定量纸页,且在抄速低于 600m/min 的老式低定量纸机上仍有使用。在高抄速时遇到了抄造性能上的问题,因为从成形网剥离纸页的张力是按指数而随速度增加的。

图 16-78 所示的真空吸移引纸装置是在 1954 年首次实现商业化应用的,目前是绝大多数生产低定量纸页的压榨装置的组成部分。该系统中,纸页在接触点被包绕着真空辊的毛毯吸离网子。然后纸页贴着毛毯或送去传递压榨或直接进入第一压榨压区。

有真空引纸的系统,纸机第一次开放引纸是在压榨部或干燥部。首次开放引纸往往是纸机的操作重点,因为湿纸页十分脆弱,而且又受到各种原因的应力的作用。在车速较高时,低定量纸页在整个压榨部操作以及进入干燥部时均需有承托,这是非常重要的。设备制造商已开发了不少无牵引力的压榨装置。

压榨配置型式

直通压榨是最古老和最简单的压榨装置,而且仍然在浆板机和纸板机上使用。最初,在系列配置中的每个压榨包括一个光滑上压辊和一个带毛毯的下压辊(图 16-79)。所以只有纸页正面接触到光滑的辊面。以后使用了反向的第二压榨(即光滑辊在下面),这样纸页的网面(反面)也接触到了光滑辊面。

在带真空引纸的纸机上,已使用多种传递压榨配置将纸页从引纸毛毯传递到一压毛毯,从而免除了开放引纸。一个利用双毯传递压区的早期装置示于图 16-80。原先的真空传递压榨不是用于脱水的,但带双毯双面脱水压区的新型传递压榨则有较高的脱水效率。

已开发了许多种配置方法以替代传递压榨,最有名的是示于图 16-81 的双压区压榨(即三辊两压区——译注)。这种配置有很多优点:取消了第一与第二压榨之间的引纸;纸页网面经过双压区时接触到光滑辊;而且该双

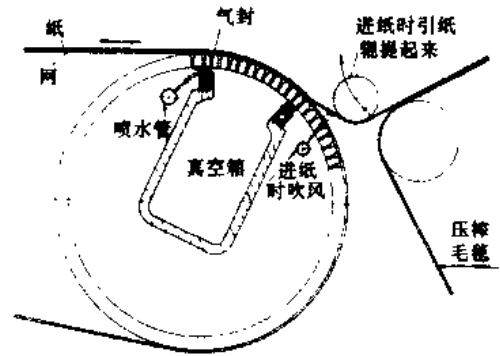


图 16-77 开式引纸伏辊真空箱相对应的纸页移离位置是典型的

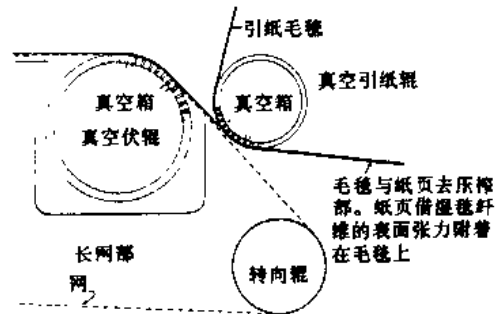


图 16-78 真空引纸的布置

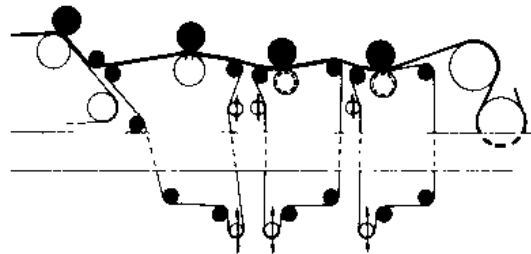


图 16-79 直通压榨 (Beloit 公司)

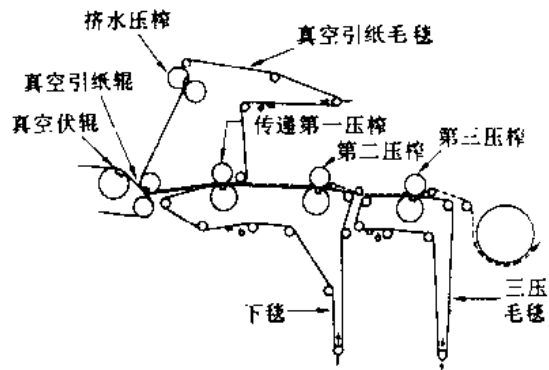


图 16-80 真空传递压榨配置

压区只需一个光滑辊就行。

高速抄造的要求,又导致开发出了无牵引力引纸的压榨,即在整个压榨过程中的低定量纸页均有承托。一个使用双毯压区的典型配置示于图 16-82。纸页“孔印”(即真空辊孔眼压出的印痕——译注)问题以及在若干宽幅纸机上真空辊的失败,又导致开发了一种在一压和二压压区使用独立压辊的代用无牵引结构。

在三压区无牵引压榨配置中大部分的水都是从纸页正面脱去的。因为单面脱水,使两面的涂料和油墨吸收性不同,可能对某些纸种造成麻烦,因此导致在若干纸机上又安装了独立的开放引纸的第四压榨,示于图 16-83。第四压榨增加了去干燥部的纸幅干度,还减少了两面差。

热压榨

在纸页温度 $60\sim 90^{\circ}\text{C}$ 范围进行压榨是增加压榨脱水与改善纸页固结性的新技术。较高的纸页温度软化纤维素纤维并使纸页更具可压缩性,它也增加了水的流动性,从而可使水更迅速地离开压区。操作数据表明,温度每提高 10°C 将使最后一个压区出口的纸页干度提高约一个百分点。

提高纸页温度的通行方法是在长网上和压榨部利用喷汽装置⁽¹¹⁾,蒸汽一般用在纸页的某一面,其反面则通过承托毛毯施加真空力;蒸汽被吸入纸页结构中冷凝并释出热量。配置了许多新型的可在纸机横向分区控制的喷汽装置以实行对横幅分布的有效矫正。

在热压榨技术上一个令人振奋的新发明体现在 TEM-SEC 压榨上,这是由西班牙一家名叫 DG 国际公司的小机械厂发明的。该压榨基本上包括一个内部蒸汽加热(汽压 0.3MPa 以下)的大直径(3m 以下)中心辊。在中心辊上有两个以上的沟纹辊或盲孔辊。施加于这些压区的最合适负荷为 $80\sim 280\text{kN/m}$ 范围。一个典型的布置图示于图 16-84⁽¹²⁾。这类 TEM-SEC 装置所得的干度

水平一般比希望的要高。因为没有高压

力,该装置所需的投资低于宽压区压榨。与其他方法比较,压榨干度较高,附加的好处是改进了

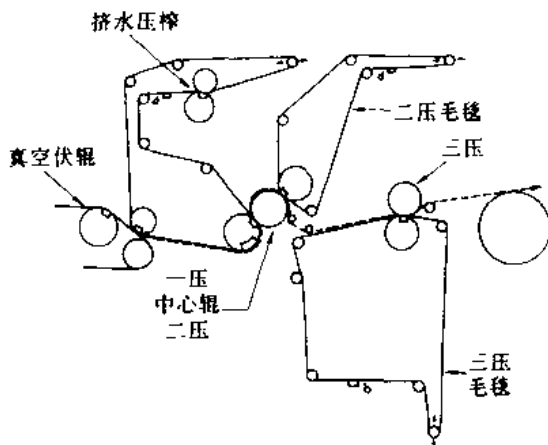


图 16-81 双压区压榨配置

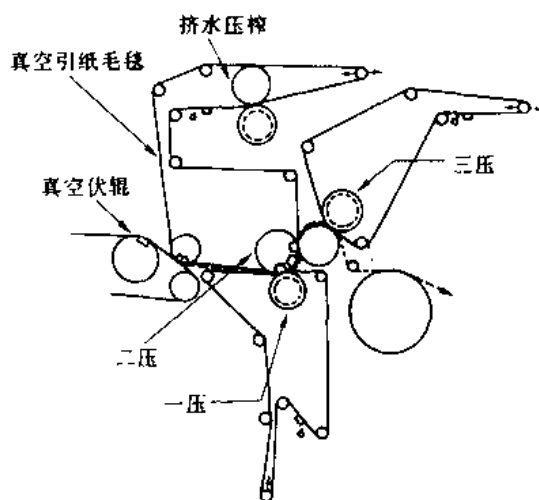


图 16-82 新型三压区无牵引压榨部

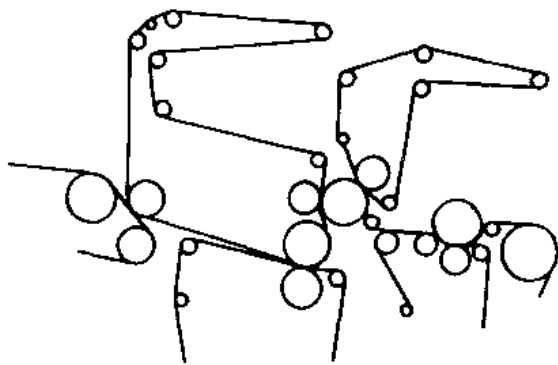


图 16-83 带开放式第四压榨的三压区无牵引压榨配置

纸页强度。与热金属接触的纸张表面受到光滑整饰作用。

压榨贵重品 (Press clothing)

压榨编织物 (一般仍称作“压榨毛毯”) 在压榨操作中担负着重要任务。它通过各种操作过程承托和运送纸幅, 并协助纸幅脱水。其作用也好似一个传动带, 驱动压榨部的其他组成部分。为了经济而始终如一地完成这类功能, 毛毯必须制成具有严格标准的耐久性、尺寸稳定性、透气性、洁净度、柔软性和表面整饰性。

随着纸机结构的改变, 压榨贵重品 (clothing 原意为覆盖物, 现按习惯译成贵重品——译注) 从传统毛毯演变成工程编织物 (engineered fabrics)⁽¹⁴⁾。最初所有毛毯都由细纱编织, 并以机械方法制成毯状或绒状以给予蓬松性和稳定性。这类主要由羊毛制得的毛毯, 垂直透气度较低, 使用寿命较短。在 20 世纪 50 年代研究成的针刺法才使布基针刺毛毯 (batt-on-base felt) 的推广有了可能。其结构是将纤维性毛网 (毛毡) 垂直针刺到底布上。这种改变可允许使用更高比例的合成纤维。

随着合纤单丝和复丝纱线的使用, 底布结构就可能有更多的选择方案。最终织成称为“网基针刺”结构的编织物, 因为底布有点类似筛网。根据需要可选用单层 (见图 16-85) 或多层编织图纹。针刺形式的选择, 取决于特定的压榨位置和纸页的整饰要求。

传统的多层编织物结构有时在纱线交叉点有明显的绞结效应, 使某些纸种显现出毯痕。为解决此问题, 研究改变底布的结构, 使编织物经线 (纸机纵向) 和纬纱 (纸机横向) 彼此垂直地放置而无需任何交织。这种“单面”型压榨编织物 (图 16-86) 由于正面经向纱线可紧密地拢在一起, 其靠纸页那面承托力较大。不同型式的底布也可利用针刺方法结合在一起制成多层底布, 以供进一步选用。这类多层编织物具有在不可压缩底布结构中大空隙容积的优点。如果它们在进入压区前用真空箱适当地脱水, 这类编织物经常有足够容量保留所有从压区纸页挤出的水。

纸机特定位置上压榨编织物的具体技术条件, 通常由供货商与造纸工作者共同确定。编织物的规格要求往往是根据试车规划和设计改进情况而提出来的。压榨编织物的最终选定取决于其所生产的纸种, 即定量和整饰要求、纸机形式、在该编织物将要使用的

条件的严酷性, 以及所使用的编织物清洗设施。制造商可通过改进纱线支数、纱线形式和重量、编织图纹、毛网分布和精细度、化学处理、合纤总含量、以及其他制造工艺影响编织

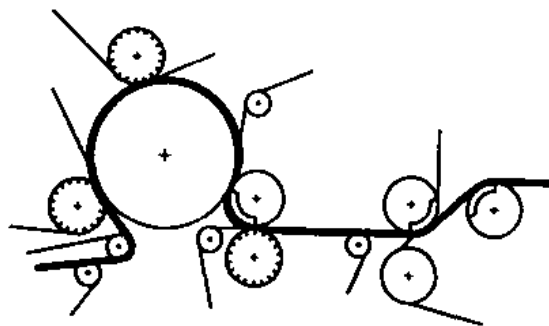


图 16-84 显示传统第一压榨后面带三个 TEM-SEC 压榨压区的压榨布置图



图 16-85 单层网基针刺压榨编织物结构

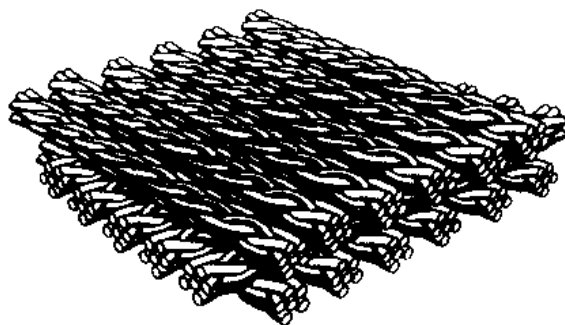


图 16-86 这种三层平面型底布是由两个方向的单丝纱线结合而成

物的性能。

毛毯的运行

典型的压榨编织物运行,包括张紧辊和定位辊,以及为使毛毯保持透气和敞开而提供的清洗和脱水手段。根据需要,进行了各种机械的和(或)化学的清洗处理,绝大多数系统利用水能(以高压和低压喷淋水形式)作为松动和冲去编织物结构中细小纤维和填料的主要方法。典型系统示于图16-87,而一种来回移动的高压喷水管示于图16-88。喷淋水处理后,将编织物脱水并用真空箱或挤水压榨辊除去松动了的填充物。如果水力还不够,可加入洗涤剂 and (或) 化学品以起到更特效的清洗作用。有时以固定或旋转的“刷子”与成纸一侧相接触,可有助于除去污垢物。

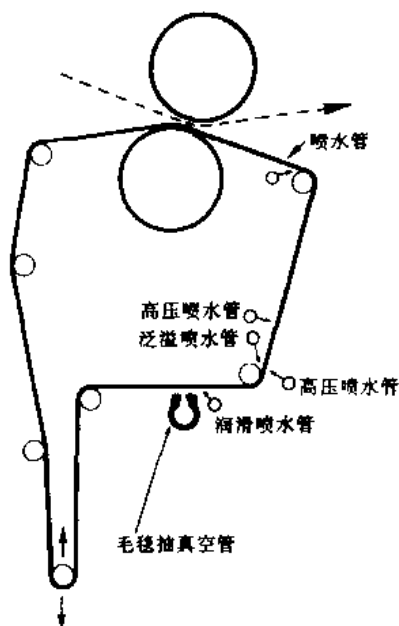


图 16-87 新型压榨编织物的清洗系统 (Albany International 公司)

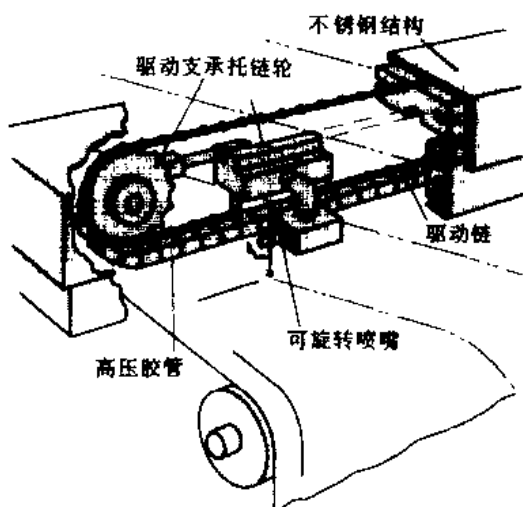


图 16-88 来回移动的单一高压喷嘴,在 6.89MPa 压力时出水量为 4~6L/min (Lodding Engineering 公司)

操作变数

从压榨布置、压区结构、压辊挂面和中高、浆料和纸页性能、毛毯的选用和清洗以及操作上的变数等观点来看,有许多因素影响压榨脱水。在绝大多数压榨装置中,压区压力是一个最重要的操作参数,它应维持在与质量需要相一致的最高水平。

压区宽度和停留时间的选择可与纸页定量和车速有关。对低定量纸页,用窄而硬的压区通常可产生最大的脱水作用,而高定量纸页对宽而软的压区更为敏感。随着纸机速度的增加,由于压区中停留时间缩短,使压榨运行性能恶化。低定量纸页的“纸页再湿”是一个特殊问题;除非发生严重的抄造问题,毛毯和纸页总是应该立即分离。

16.10 真空系统

适当地设计并安装真空系统,是成功运行的纸机系统中一个不可或缺的重要组成部分。对所

有的真空脱水元件、真空箱和成形与压榨部的毛毯清洗箱，必须提供充分的真空抽吸能力。在纸机系统中有效地使用着好几种真空发生设备，包括离心抽风机和转叶泵。最普遍使用的设备是变容的水环式真空泵，如图 16-89 所示。这种形式的泵提供全范围的真空容量，且易于处理水与空气的混合物。带有 8 台真空泵的典型真空系统示于图 16-90。图 16-91 显示在纸机室底层的一排真空泵。泵的抽吸负荷用真空联管分配到各个装置，联管在其间隔处装有法兰以隔离不同的使用场合（即不同的真空度水平）。应用联管使系统在分配作业（在某台泵因任何原因而关停时）或进一步改造上具有灵活性。

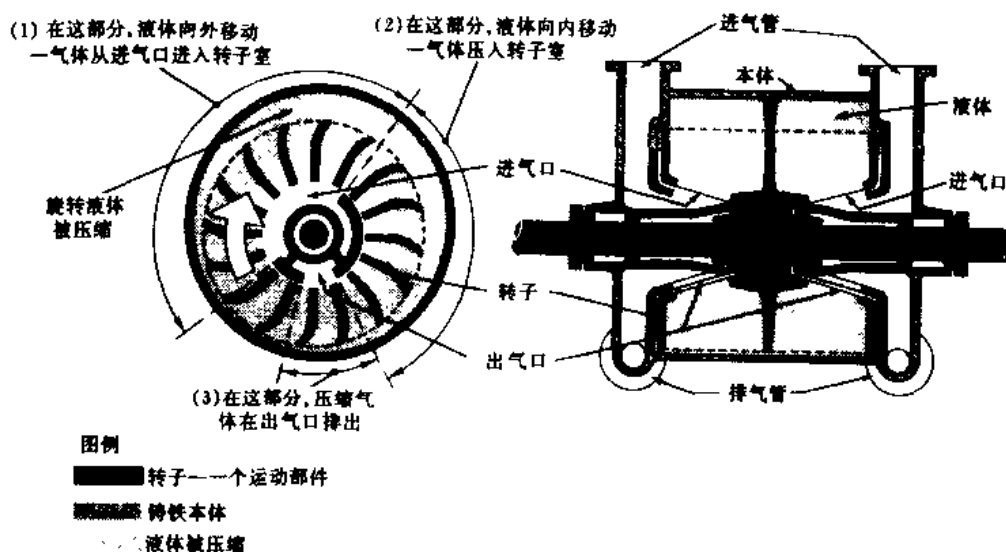


图 16-89 水环式真空泵简图 (Nash 公司)

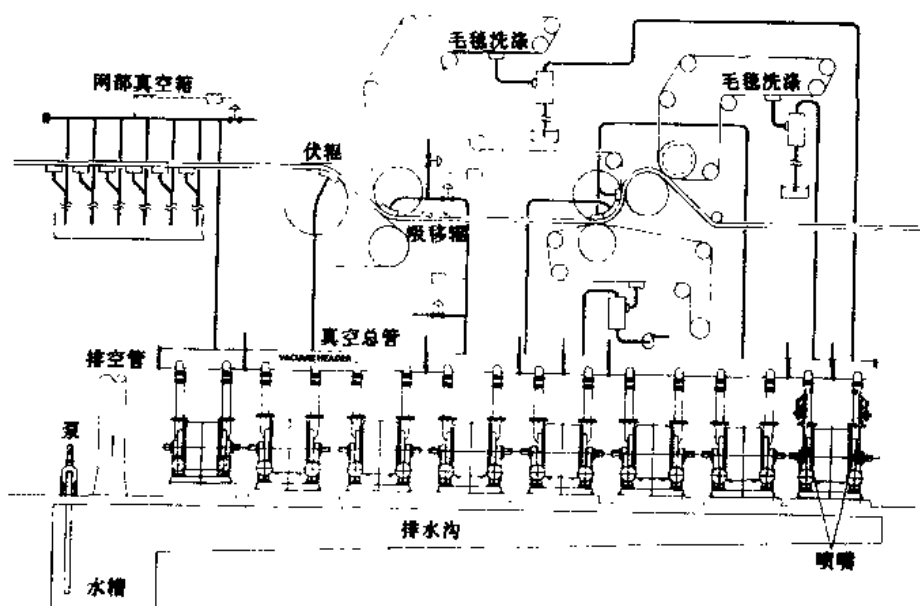


图 16-90 纸机真空系统简图 (Nash 工程公司)

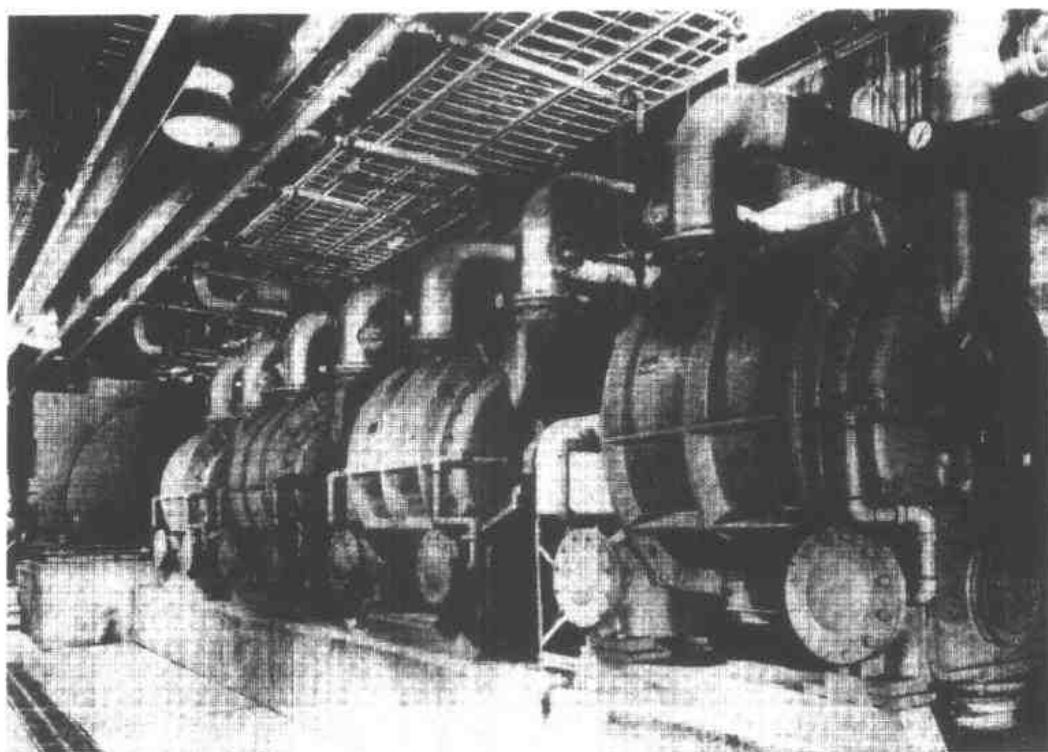


图 16-91 典型的真空泵安装图 (Nash 工程公司)

参 考 文 献

- (1) BYERS, D. Proper Component Fit Is Key Design Factor for Headbox Approach System *Pulp & Paper* (November 1991)
- (2) STEWARD, J. The Design and Operation of Paper Machine Stock Deaeration Systems *Pulp & Paper* (March 1981)
- (3) KEREKES, R. J. and KOLLER, E. B. Equation for Calculating Headbox Jet Contraction and Angle of Outflow *TAPPI* 64 : 1 : 95 (January 1981)
- (4) TRUFITT, A. D. Design Aspects of Manifold-Type Flowspreaders Joint Textbook Committee (1975)
- (5) PARKER, J. D. Tge Sheet Forming Process TAPPI STAP NO. 9 (1972)
- (6) KALLMES, O., ET AL. A Novel Approach To Optimizing Sheet Formation on the Fourdrinier *Tapi Journal* (April 1989)
- (7) MERRIMAN, K. Paper Machine White Water Management CPPA Tech 90 Papermaking Course Notes (November 1990)
- (8) WAHREN, D. Water Conservation in Papermaking *P & P Canada* 86 : 3 : T88—92 (March 1985)
- (9) WAHLSTROM, B. P. Our Present Understanding of the Fundamentals of Pressing *P & P Mag Canada* 70 : 19 : T349 (December 20, 1969)
- (10) WAHLSTROM, B. P. Pressing—the State of the Art and Future Possibilities *Paper Tech* (February 1991)
- (11) BELL, N. E. Hot Pressing Using Steam Showers Can Effectively Boost Production *Pulp & Paper*

(September 1987)

(12) WALKER, K. **Advances in Hot Pressing Yechnology** *Tappi Journal* (August 1990)

(13) HANSEN, R. A. **Steady-State Press Felts Optimize Paper Machine Output , Performance** *Pulp & Paper* (December 1991)

第 17 章 纸机干燥的运行

17.1 纸张干燥

压榨之后，纸页行经干燥部，借蒸发脱去残余水分。在传统纸机上，干燥热能是借一系列充满蒸汽的旋转大直径烘缸转移到纸张上的。低定量纸张用的典型蒸汽烘缸干燥系统示于图 17-1。

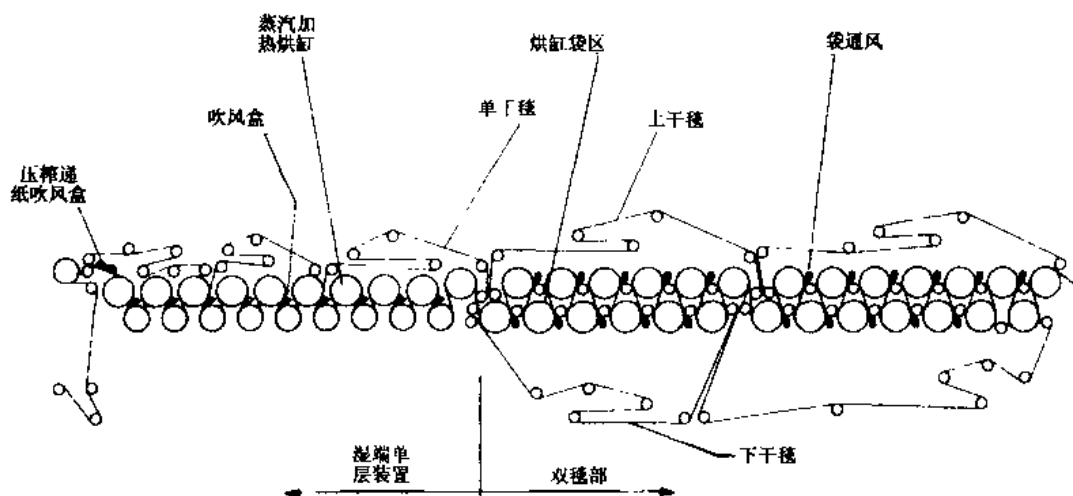


图 17-1 低定量纸张的典型烘缸装置

笨重的干燥部是纸机在投资上最为昂贵的部分。由于高能耗，它的运行费用也是最贵的。因此努力提高蒸发速率（减少烘缸数）与节约能量（减少用汽量）是很必要的。令人遗憾的是，干燥作业似乎没有受到像其他工序那样多的关注，而且丧失了许多改进效率的机会。

使用性能的评价准则

在评价干燥部的使用性能时有两个指标是很重要的：即蒸发速率（或干燥速率）和蒸汽耗用量（Steam economy）。蒸发速率以每小时每平方米烘缸接触面所蒸发的水分质量（kg）表示。就对设备要求而言，希望有高的蒸发速率，但干燥又必须在所生产纸种的制约下进行。例如，对某些纸种需要相当低的干燥速率以保证产品质量。总的是希望纸机横向有均匀一致的蒸发。但如果有必要克服条状潮斑（moisture streak）或其他分布上的问题，就要在纸机横向选定的位置上采取提高或降低蒸发速率的措施。

蒸发干燥速率受烘缸内所用蒸汽压力的很大影响。在评价生产同一纸种的不同纸机的操作情况时，应以示于图 17-2 的等性能曲线为基础。在一系列 TAPPI 数据卡（data sheets）中提供了不同产品实际纸机蒸发速率的数据（例如图 17-3）。

蒸汽耗用量以蒸发每 kg 水的所需热量（kJ）数表示，或以蒸发单位水质量的蒸汽质量表示。显然，大多数节能运行均要求低耗汽量。对新型设计与维护良好的系统来说，典型耗汽量为蒸发每 kg 水用 1.3kg 蒸汽，但许多纸机的汽耗明显较高。蒸汽/冷凝水与空气处理系统

对能耗的影响最大。

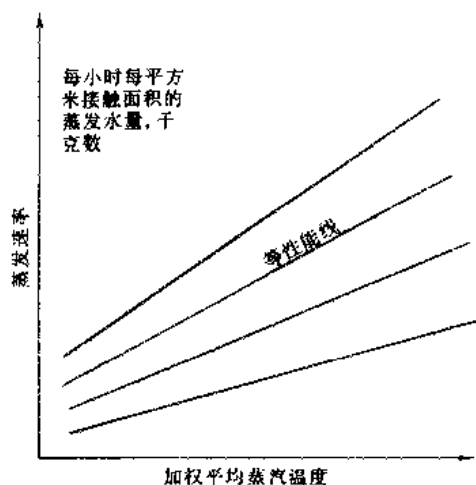


图 17-2 蒸汽温度对烘缸干燥蒸发速率的影响

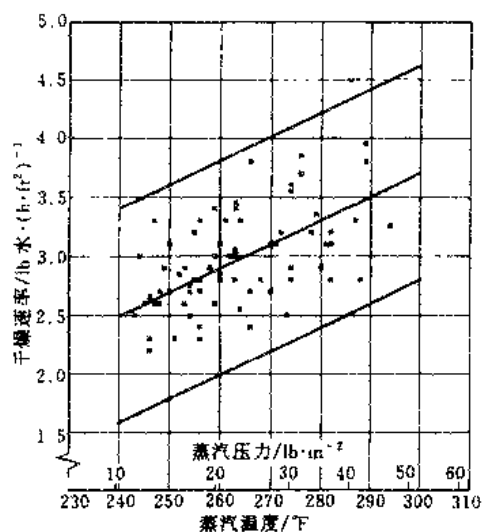


图 17-3 在车速 610m/min 时生产新闻纸的纸机蒸发干燥速率 (TAPPI TIS0404-15, 1986)

$$1 \text{ lb} = 0.45 \text{ kg} \quad 1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} \quad 1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ lb/in}^2 = 6894.76 \text{ Pa} \quad \frac{t_F}{F} = \frac{9}{5} \frac{t}{^\circ\text{C}} + 32$$

蒸发区

干燥速率沿纸机而改变。进入干燥部的头两个烘缸，作用主要是提高纸页温度（升温区）。然后迅速蒸发，达到最高速率，只要纤维表面和大毛细管内还存在着水，就一直保持此速率（恒速区）。到小毛细管内的残余游离水分都被蒸发时，速率开始下降（“降速区”）。最后，在约 9% 水分时，纸页内的残余水分被物理化学作用力结合得很紧，蒸发速率进一步下降（“结合水区”）。图 17-4 示出各个不同的区域。

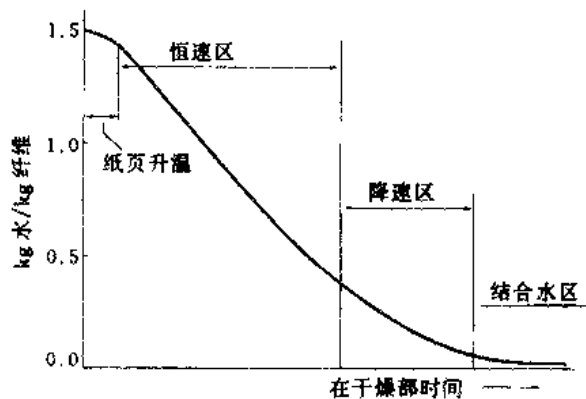


图 17-4 干燥曲线

所有其他因素都相同时，在恒速区进行的蒸发愈多，平均蒸发速率就愈高。由于同样原因，如果大量时间浪费在结合水区，平均速率就较低。很遗憾的是，有些纸机被迫“绝干”以弥补不理想的干燥均匀性。因为在低水分含量时，物理化学结合键变得越来越难于断开，于是就对横幅水分分布产生自然的矫正效应。

干燥过程的描述

压榨部含 53%~60% 水分（40%~45% 干度）的湿纸幅，经过一系列旋转的蒸汽烘缸（直径一般为 1500mm 或 1800mm），将水蒸发掉并通过排风将水汽

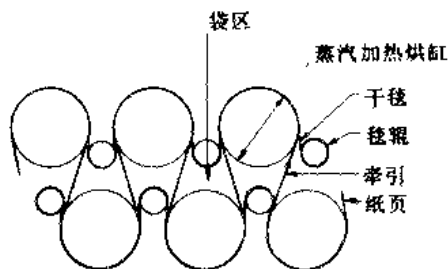


图 17-5 双层烘缸干燥配置

带走。湿纸幅被透气的合纤编织物（称干毯）紧贴在烘缸上。编织物也供承托和引导纸页通过干燥部之用（有时，它也协助控制横向收缩和保持纸页平整，即防止纸页起皱）。

多数纸机都有 3~5 个单独套有干毯的干燥区，每个区有独立的速度控制以维持区间的张力和调节纸页发生的任何收缩。所有上下干毯运行均配有张紧辊和定位辊。通常也可分 3~5 个独立控制蒸汽压力的区；这些区可以与干毯分区相同或不同。传统双层干燥的典型配置示于图 17-5。

现在应将注意力转到“烘缸袋区（dryer pocket）”（图 17-6）。纸张干燥最好可看作是两个阶段反复进行的过程。在第一阶段，纸页与蒸汽烘缸接触的同时，吸取显热。在第二阶段，纸页在上下烘缸之间的开放牵引区闪急蒸发出蒸汽，从而使纸页自发地冷却并做好再次吸取显热的准备。

在烘缸内部蒸汽与包绕烘缸的纸张之间，典型的温度分布示于图 17-7。主要的热阻力通常来自烘缸内侧的冷凝水层和纸页与烘缸间的空气层。尘膜对某些纸机和（或）纸产品也可能很重要，为保持缸面干净，多半需用刮刀装置。

利用适当的干毯张力保持纸幅牢固地贴紧缸面，将使空气层减到最薄。已经发现逐渐增加干毯张力到超过某个点，空气层就不再减薄⁽¹⁾。张力需要与纸机车速成正比，并随烘缸直径的 1.5 次方而变化。图 17-8 提供了新闻纸纸机的下毯张力推荐值与车速和烘缸直径之间的函数关系。

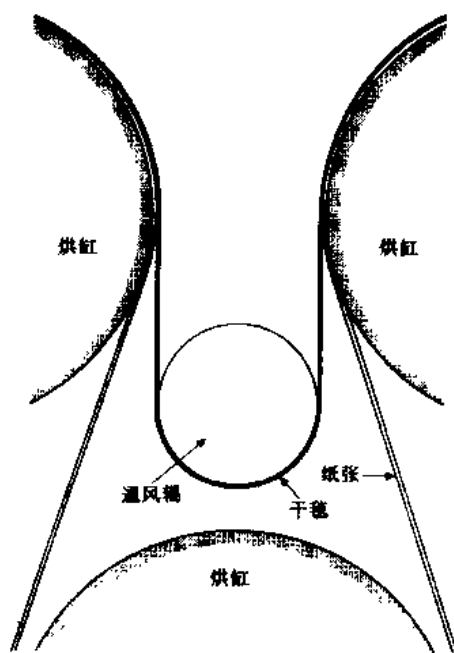


图 17-6 烘缸袋区

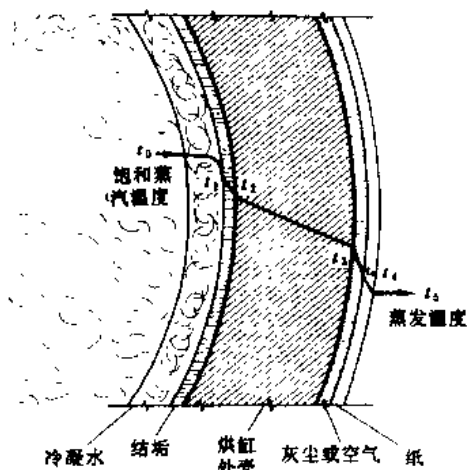


图 17-7 穿过干燥烘缸的温度分布显示出热阻效应

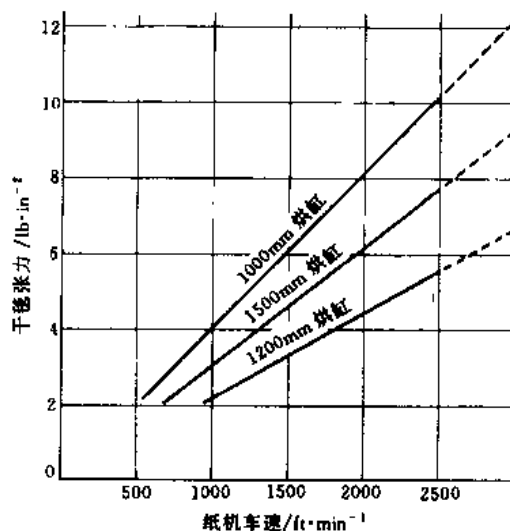


图 17-8 新闻纸纸机的推荐干毯张力
(TAPPI TIS 0404-04)

注：1ft=0.3048m

在高速纸机上冷凝水层很可能是热传递的最重要阻力；这将在本章稍后作介绍。如果让不凝气在蒸汽烘缸中积聚，它们可对热传递产生负面影响，而且还可形成不均一的干燥。

在袋区中影响闪急蒸发的主要阻力是湿汽的积聚，形成了较低的分压差。如何使袋区有充分的通风，也将在本章的后面介绍。

蒸汽和凝结水系统

纸张干燥的热能来自蒸汽在蒸汽烘缸内的冷凝。这种热称之为“潜热”。蒸汽冷凝的温度以及潜热的相对数量取决于蒸汽压力，表 17-1 列出了蒸汽表的数据。蒸汽总是在饱和温度（由系统内蒸汽压力决定）冷凝；这对于控制纸机横向的干燥均一性是很重要的。蒸汽输送时的温度通常略高于饱和温度（即“过热”）以防止在管道内冷凝。

表 17-1

饱和蒸汽的性能

压力/lb · in ⁻²	温度/°F	潜热/Btu · lb ⁻¹
0	212	971
5	227	961
10	239	953
15	250	946
20	259	940
30	274	928

注：1lb · in⁻² = 6.89kPa，1Btu = 1055J

随着蒸汽压力的提高，冷凝（饱和）温度提高，潜热减少。因此，传热速率随压力而增加，但对一定的传热量而言，必须冷凝更多的蒸汽。

在烘缸内形成的凝结水，借特别的虹吸管装置排出⁽²⁾。在低速纸机，冷凝水在烘缸底部汇集成一个“小水塘”；在这类纸机上往往将带角度的固定式虹吸管插入水塘中。随着车速的增加，水塘开始呈瀑布状落下；最后由于离心力作用，达到冷凝水覆盖全部内表面的“甩边”状态（图 17-9）。在高速纸机（以及若干低速纸机）使用旋转式虹吸管，此时将虹吸管装置固定到烘缸壳体上，使虹吸管与壳体的间距保持最小（图 17-10）。

在低速纸机上，烘缸内部的凝结水塘对传热速率有正面效应。在甩边状态开始形成时，凝结水层内仍然有相当的湍动，以协助维持热的传递。但随着车速的提高，凝结水层更趋固定化（由于更大的离心力），为尽量减少凝结水厚度，减少虹吸管间距变得更为重要。但在高速度的新型纸机，凝结水层已变得如此固定化，以至即使非常薄的水层也

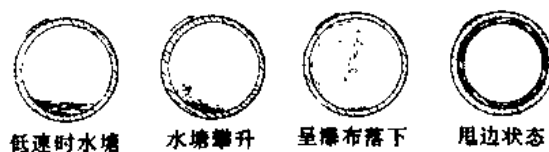


图 17-9 随着车速增加（如图示从左至右），烘缸内凝结水的行为。由水塘转为甩边状态一般发生在车速 370~430m/min 之间。

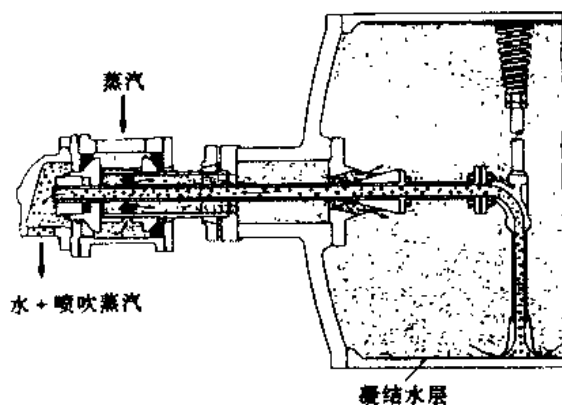


图 17-10 旋转式虹吸装置显示出旋转压力接头的细节以及喷吹蒸汽的作用（Johnson 公司）

明显阻碍热量的流动。

好在冷凝水层在高车速下仍有若干圆周运动。该运动借助于轴向固定于烘缸内表面的“烘缸肋条”可转变成波浪形(图 17-11)。这种波浪作用(所谓“激荡”)大大减少了甩边凝结水的热阻力,从而使传热速率增加⁽³⁾。也可安装在某些烘缸内安装分段式烘缸肋条以便有选择地改进纸机横向的蒸发速率,矫正水分的横幅分布。

在大多数现有纸机上,通入蒸汽和排出凝结水都是在同一侧(一般是前侧)。在宽幅纸机上,这种布置可有利于不凝汽的积聚。在新型纸机设计中,蒸汽在烘缸后侧通入,凝结水从前侧(操作侧)排出,如图 17-12 所示。目前宽幅纸机趋向使用两个虹吸管,烘缸的每端一个,以保证凝结水的排除更为均匀。

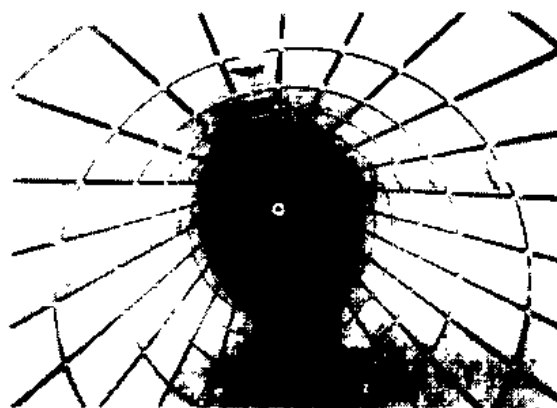


图 17-11 安装 25 根烘缸肋条的典型示图 (Beloit 公司)

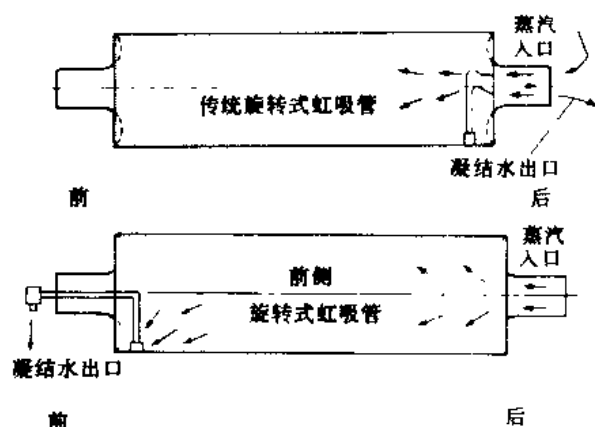


图 17-12 老式烘缸(上)蒸汽入口和凝结水出口在同一侧。新式烘缸(下)的蒸汽从后侧进入,凝结水则从前侧排出

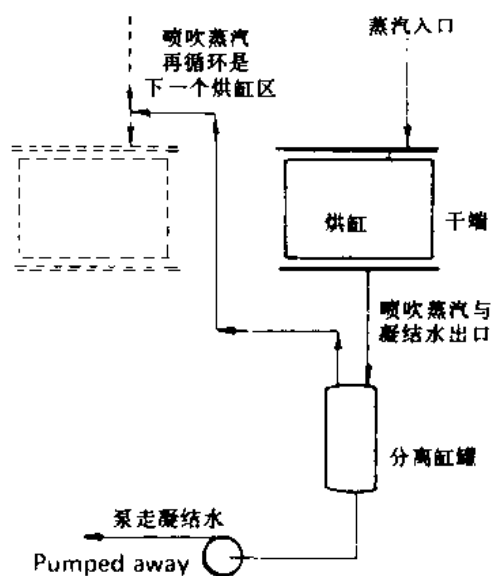


图 17-13 利用喷吹蒸汽的串联系统

抵抗高速纸机的离心力,从烘缸壳体抽吸纯净凝结水到轴颈中心线所需的压差非常大(例如,在 1070m/min 时为 0.4MPa)。实际上,由于允许蒸汽挟带冷凝水从而降低了有效密度(如图 17-10 所示),使压差降低很多。这种所谓的“喷吹蒸汽(blow-through steam)”也用来从烘缸中排除不凝气体。

喷吹蒸汽处理系统

处理喷吹蒸汽有两种常用系统。在串联系统中,蒸汽从凝结水分离出来,然后重新用于低压烘缸区,如图 17-13 所示。这种系统的主要缺点是各烘缸区的相互依赖性;只有最高压力区才可以单独变化。第二种系统,它是目前通用的方法,称为“热压缩机”(又称热泵——译注)系统,如图 17-14 所示。在这里,低压喷吹蒸汽借与高压生蒸汽混合而“增压”,然后通常回用在同一烘缸区。这种系统对每个烘缸区提供完全独立的压力控制并可自由分配烘缸,只

是损失了若干高压生蒸汽发电的价值。热压缩机的喷射器示于图 17-15。

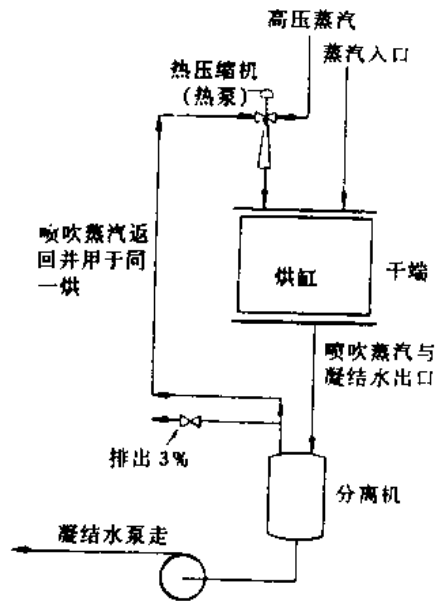


图 17-14 使用于喷吹蒸汽的热压缩机系统

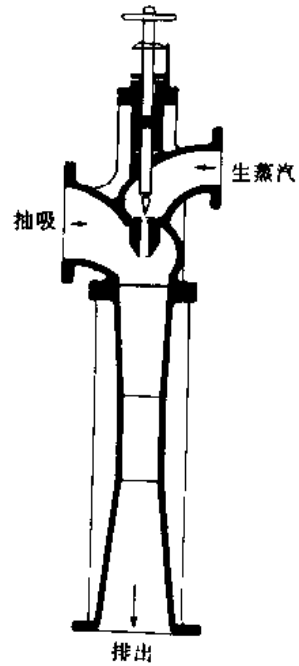


图 17-15 热压缩机

袋通风

1960 年以前，烘缸干毯由羊毛织成，基本上是不透气的。当烘缸套上这种传统的干毯时，袋区除两端外基本是密封的，要通风排除湿空气很困难。一般是将高速空气喷入袋区的端部，沿袋区进入的该气流将湿汽冲掉。这种系统的效率很差，特别在宽幅纸机上。

在 20 世纪 60 年代前期，贵重品制造商开始引入有良好通风结构的合成纤维编织物，发

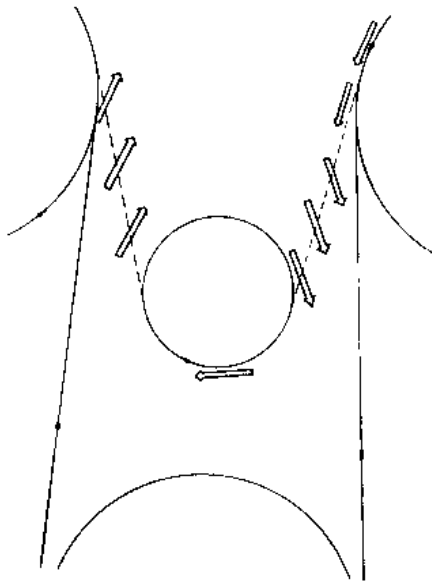


图 17-16 显示在烘缸袋区可透气编织物是如何置换空气的

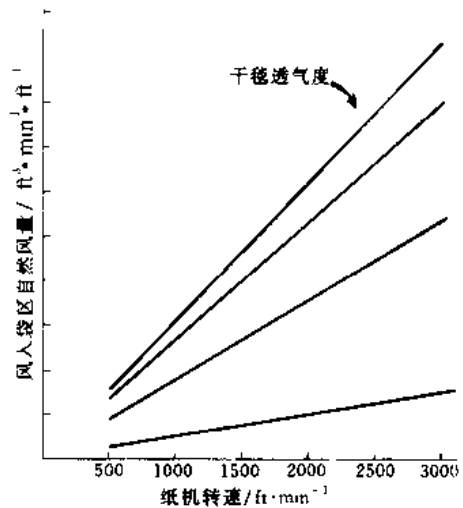


图 17-17 每单位宽度进入烘缸袋区的自然风量跟纸机车速和编织物透气度的函数关系
1ft=0.3048m

现这类开放式编织物天然地使空气出入袋区进行通风,如图 17-16 所示。研究人员发现,置换空气的数量主要跟干毯透气性与纸机车速成函数关系,如图 17-17 所示。

通过将干热空气专门送入袋区,可透气编织物的作用进一步拓宽。可用两种方法送风:如图 17-18 所示的通过毯辊以及如图 17-19 所示的通过另置风管。还有许多这类基本设计的变型。借沿纸机横向给予不同的供风量,这类系统还可用来矫正横幅水分的分布。

用新型干毯与供风系统所获得的良好袋区通风,是使蒸发速率大为提高。它对烘缸袋区湿度分布的影响是非常大的,如图 17-20 所示。

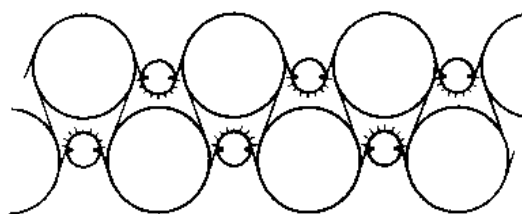


图 17-18 利用毯辊的袋区通风 (Beloit 公司)

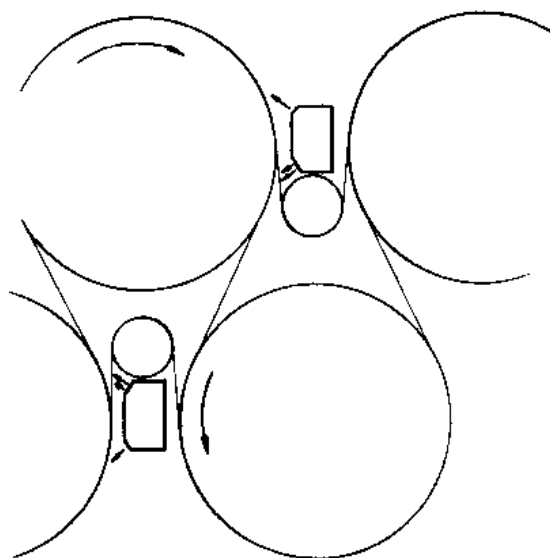


图 17-19 使用风管的袋区通风 (Beloit 公司)

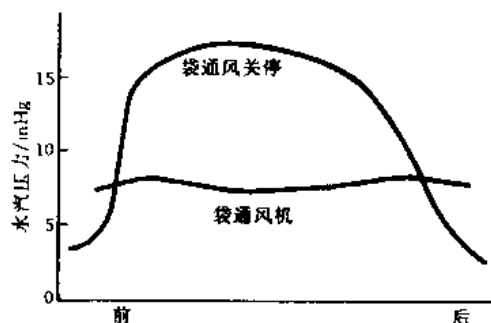


图 17-20 用或不用袋通风时沿烘缸袋区水汽压力横向分布的例子

纸页抖动

自从使用合成纤维编织物以来,因透气度很快上升而获得了良好的通风。但被这类编织物所带入的强气流,在低定量高速纸机上产生了纸页抖动的问题(纸页抖动是指在烘缸区开式牵引中纸页的波动和拍打。在纸页边缘的抖动导致起皱和断纸)。纸页抖动问题促使贵重品制造商改善干毯所有部位结构的透气度,包括抖动最严重的边缘部位透气度的若干降低。同时,一直存在的提高纸机车速的倾向也加重了抖动问题。

有不少控制纸页抖动问题的设计方案,包括改变袋区的几何形状和使用空气刮刀以转变破坏性气流的方向。但在现有纸机上最广泛使用的策略是将最易于起皱的第一烘缸区改为单毯配置⁽⁴⁾。在称为“盘旋形干毯运行”(图 17-21)中,取消了下毯,上毯带着纸页包绕上下烘缸。因此在上下烘缸之间的牵引部分,干毯也托着纸页,而且还在纸页与下烘缸表面之间运行。“盘旋形干毯运行”在一定程度上对控制纸页是有效的,但在更高速度时仍有明显的不稳定性。可惜的是使用这种布置,下层烘缸就变成是重复的了。

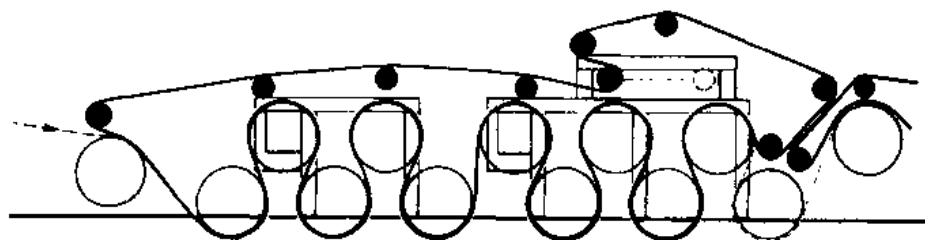


图 17-21 螺旋形干毯运行 (Belout 公司)

在典型最新设计的、生产低定量纸页的高速纸机上,在干燥部湿端(即靠近压榨部一端)现已取消了下层烘缸,纸页以更大的稳定性包绕烘缸间的真空辊(见图 17-1)。吹风箱(Blow box)也可用以控制界面空气层。对下一代高速纸机,有些设计者建议用带有不少“颠倒烘缸区”的全面单层布置,以便可对纸页两面进行干燥现已投入工业应用——译注。

汽罩通风

空气是纸张干燥过程的一个重要部分。根据使用哪种汽罩装置型式,蒸发每 kg 水所用的空气量从 7kg 到 20kg 不等。为了防止汽罩内部的滴水、结垢和腐蚀,排出空气的容量和温度必须足够,以免局部冷凝。为最佳应用,应将供风策略地引进到干燥工艺中。

早期的烘缸汽罩只不过是一个带抽气风机的夹层顶篷。所有生产过程的空气都从纸机厂房中抽出来而没有得到有效利用。局部封闭汽罩是一种改进,而全封闭汽罩则提供了更好的供排气流控制,并保证有更舒适的操作环境(参见图 17-22)。新一代的汽罩(所谓“高露点汽罩”)是密封与绝热的。渗漏空气被全部消灭,补充新鲜空气的数量由于操作在带部分循环的高温下而大大减少。

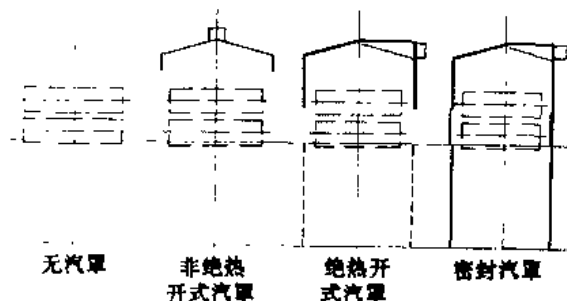


图 17-22 各种不同的烘缸汽罩

蒸汽耗用量和热回收

虽然操作不良的蒸汽/凝结水系统⁽¹⁾可能浪费了不少蒸汽,但绝大多数用于纸张干燥的热能最终是浪费在排气(排风)上的。因此蒸汽耗用量跟所用空气量与可回收到供风中的热量多少有密切关系。所有新型汽罩均配有类似于图 17-23 所示的热回收系统。其主要设备是空气热交换器,它将湿热排气中的热量传递给新鲜的外来供风。

在高露点汽罩情况下,因为空气用量少,以及有可能从水汽冷凝实现更高水平的热回收,蒸汽耗用量可以很低。可惜的是在供风中可被回收的热量一般限于 10%~15%。纸机厂房的供风和生产用水的热量往往结合进热回收系统中;虽然回收了有用的能量,但这种“低水平热量”对耗汽量关系不大。

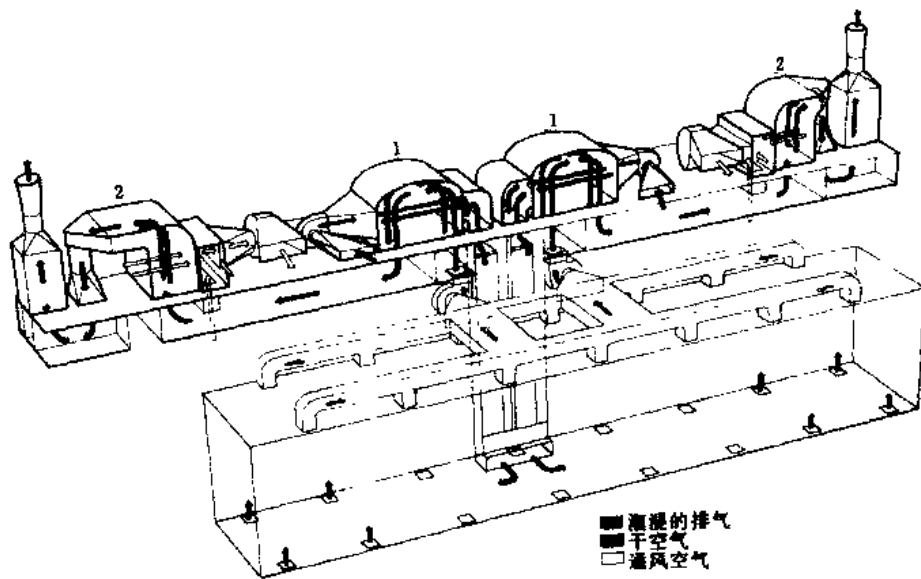


图 17-23 干燥部热回收设备的典型布置

1—将热空气供给烘缸的热交换器 2 加热纸机厂房通风用空气的热交换器

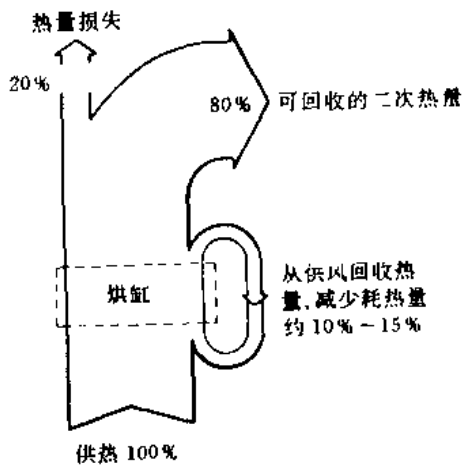


图 17-24 纸张干燥过程中热流的分配图

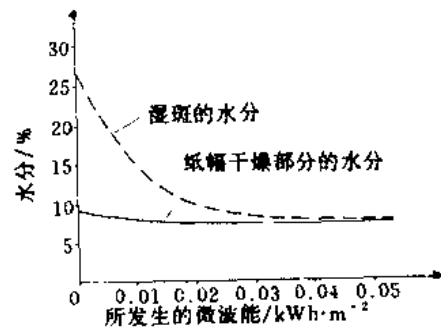


图 17-25 微波能的选择性蒸发作用，显示对干端条状潮斑的干燥情况

另外的干燥方法

对某些用途还可使用其他的纸张干燥方法（除蒸汽烘缸外）。空气冲击干燥和红外干燥常用于跟蒸汽烘缸接触将造成粘附问题的涂布作业中。一个常用于纸浆干燥的技术——气垫干燥也用于生产伸性纸；因为它在纸机纵向施加了少量的张力，而在传统干燥中纸张是没有预拉伸的（参见 20.3 节）。空气穿透干燥已发现可用于干燥低定量多孔纸张（主要是薄型纸）（参见 20.7 节）。

微波或介电（dielectric）干燥似可用于纸机的干端。游离水（相对于结合水而言）优先吸收微波能，达到自动矫正横幅分布的目的，如图 17-25 所示。也许是由于经济上不合算，这项技术尚未被接受。

压榨干燥与脉冲干燥

压榨干燥是指在一定限制下，综合应用压榨—干燥的任何一种工艺过程。这项技术的研

究工作非常活跃,但至今尚未应用于工业上。该法除改进产品质量外,还可望有更低廉的脱水费用。

脉冲干燥是压榨干燥的一种形式,但温度和压力的条件更为强烈。基本设想是在压榨压区内部提供一个额外的推动力;该推动力是借在纸页的某一面产生高压蒸汽(与极热压榨面相接触)而形成,高压蒸汽将水分完全赶出到那个冷的压榨表面。干燥速度比那些传统干燥所要求的大两至三个数量级;但再说一遍,此技术尚未工业化应用。

17.2 压光

压光(Calendering)本意是指用辊子进行碾压的一种通用术语。多数(但不是全部)纸张进行压光的主要目的是获得光滑的印刷表面。在压光时若干纸页往往发生压缩现象;有时(例如,在食品纸板和薄型纸时)可将此看作是一个缺点。但在新闻纸类纸页时减少厚度也是一个目的,此时很重要的是以一个标准直径纸卷获得规定长度的纸张。通常压光在干燥的纸张上进行,但有些压光处理也可在部分干燥的纸张上进行(有人认为平滑压榨或长网机真空伏辊上方的小压辊也属于压光设备类,因为它们的主要目的就是使纸面平滑)。

压光的另一个常见目的是改进某个性能(特别是厚度)的横向(CD)均一性,这对复卷和进一步加工很重要。必须注意,为补偿某个CD性能(如厚度)的不均一性而改变压光压力,会引起其他性能(如密度、平滑度)CD分布的均一性下降。但一般地说,引起的不均一性很小,厚度控制还是压光的一个重要方面(横向分布控制方法将在17.3节讨论)。

压光作业借使纸幅通过一个以上的双辊压区(压辊可能是等硬度的,也可能不是)而改变纸页的表面性能与内部性能。压力非常大,而纸幅的任何部分真正耗在压区的时间则是无限短。基本目的是以足够的力量将纸张压向压光辊的光滑面,使纸张塑性变形并将压光辊面重现(replicate)到纸张上⁽⁶⁾。这种重现过程可借施加更大的压力和(或)剪切力和借加热或湿润纤维使它们更柔韧而加以强化。曾经将压光作用比作用熨斗熨平一件布衬衫,但实际上用辊子压区型的压光,并不起到抛光作用(仍在普遍使用的惟一起抛光作用的压光机是刷型压光机,在这种压光机中纸板表面与迅速旋转的刷子相接触)。

机内与机外压光

出于经济和效果上的原因,大多数压光作业都是机内进行的。压光与卷纸有关,必然不可避免地成为纸机生产过程的组成部分。机外压光法相当昂贵,只是当机内压光不能满足纸张表面整饰要求时才使用它。经典的机外压光作业即为交替使用铁辊与纸粕辊的超级压光机(参见18.3节)。

直至20世纪70年代中期,机内压光仍局限于传统的作业,即让纸张通过一系列铁辊组成的1个以上的压区。传统纸机压光与超级压光的纸张之间,在印刷质量上差别很大。但在20世纪70年代后期与80年代,由于采用了新型弹性辊面和改进的设备设计,机内和机外压光的性能之间差别已很小。新型在线压光技术有可能给纸张生产者提供获取更多市场份额的一种纸机压光整饰。有些工厂的资料甚至已认为对某些要求不太严格的纸种,机内软压区压光机已可取代超级压光机。

纸机压光机的型式

在传统的硬压区纸机压光中,纸幅被碾压至均一厚度,如图17-26所示。因硬辊的压力集中在高出点部位,该小范围的纤维聚集点(凝聚块)就被迫占有与低定量部位等同的厚度。因此定量变化也成了密度变化;这些转面又成为表面性能的变化,例如,可显现出色调不一的

印刷斑点。

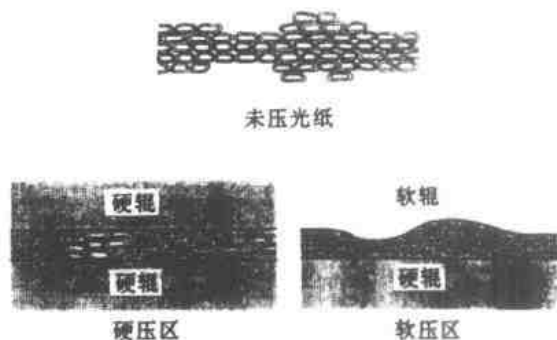


图 17-26 图示硬压区与软压区的压光作用

在硬压区压光中，定量变化也成为密度变化。

在软压区压光，高定量区域通过而未被压扁，并成为可见的厚度变化（据参考文献 6）

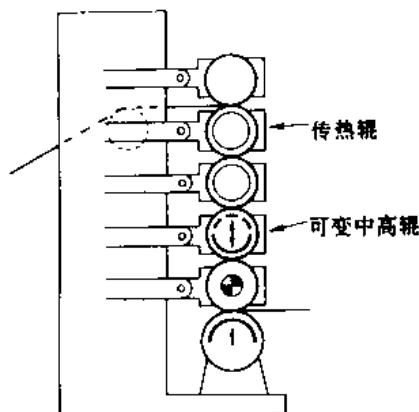


图 17-27 新型多功能硬压区压光机便于加热纸幅和调节下部压区的负荷 [据参考文献 (6)]

在超级压光机中，压区由硬辊与软辊配对组成。软辊面层由压缩纸粕、橡胶或铸塑制成，在压区中这些材料有跟受压纸张相近的硬度。软面层的作用是使压区中纸幅的高出与凹下部分所受的压力更为均一，并生产出密度更为恒定的纸产品而不是如图 17-26 恒定厚度的纸产品。因此，表面性能将更为均一，定量波动将表现为厚度波动。

虽然有许多不同布置与结构的硬压区机内压光机在使用，如图 17-27 所示的设备是较常见的。这种压光机组的最新特征是具有加热辊和可变中高辊。在高温下压光是比较好的，因为纸张变得比较柔韧并有可能在低压力下进行碾压。因此，压光机组的头两个包绕的压辊应该是加热的（图 17-28）。底辊（王辊）必须有可变中高，但也可以是某个中间辊有可变中高以便于改变压区负荷。底辊上而一个辊（王后辊）通常作为传动辊。

机内软压区压光是获取超级压光的若干好处而又不付出代价的一种尝试。该技术已在 20 世纪 80 年代广泛用作为改进纸张表面质量的一项措施。使用的设计结构有很多，但示于图 17-29 可能是最普遍的。因为接触金属辊的一面比接触弹性辊的一面受到更好的整饰作用，所以必须有两个压区以获得等量整饰作用。弹性辊通常是水冷式的以除去而层产生的热量。硬辊配以可变中高。这类软压区压光机的重要设计特征是所有辊子都是单独驱动的；这使得有可能在纸机速度打开和封闭压区，便于在不损害辊子面层情况下引纸。

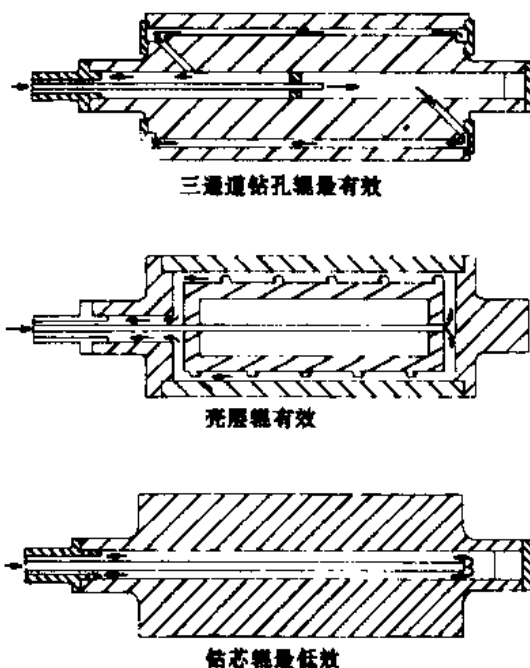


图 17-28 用作温度控制的压光辊，显示出钻孔改进的三种型式。所有这些辊子都利用热水循环

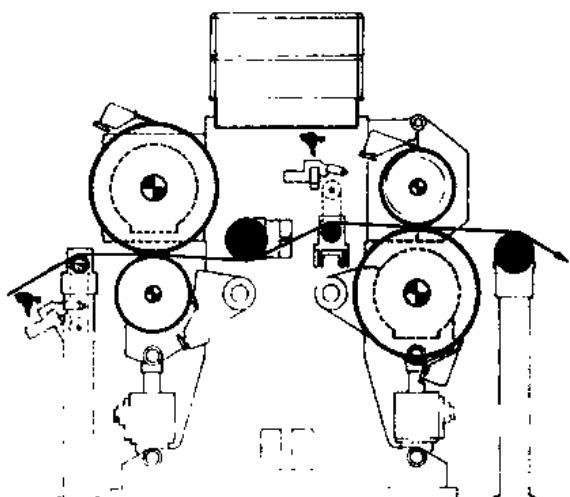


图 17-29 在线软压光机 (Kusters 公司)

压光变数

显然,压光的目的是控制纸张的厚度与表面性能,而又不对强度性能产生负面影响。在纸张性能和操作变数方面的主要压光变数列于表 17-2。进入压光机的纸张性能显然影响压光操作和压光后纸张的性能。最初的一些数值对最终压光后的数值有影响,抄纸配料的特性也有影响。

表 17-2 压光变数

纸张性能	厚度	操作变数	水分含量
	松厚度		纸机车速
	表面性能		压区负荷
	强度性能		辊子直径
	抄纸配料		辊子温度
	温度		压区数量

纸张的水分含量对其压缩性能有重要影响。因此已采取了各种利用水分以获取更大压光效果的方法。在若干纸机上,离开干燥部的纸幅经过一个冷却湿润辊 (sweat roll),使水分冷凝并转移到纸面。也使用喷汽器或喷雾器以增加表面的水分含量。对于某些纸板,有时利用压光机第一压区前面的水箱增加纸面水分。有时,在最后两个烘缸区之间可安装一个或两个压光机压区,以便在较高水分含量时提供压光作用,此时,该设备称为“半干压光机 (breaker stack)”。

纸页粗糙度与厚度的减少是互相关联的,而且均是压区压力、停留时间和压区数量的两个函数。通常,在使用传统的纸机压光机时,对单独控制厚度或平滑度都有限定的范围;但已知温度对粗糙度有若干不成比例的效应,如图 17-30 所示。当然平滑度效应也与辊子的光洁度有关,大多数压机辊子都是经过“超级光洁”,即研磨后又用带式抛光机抛光。

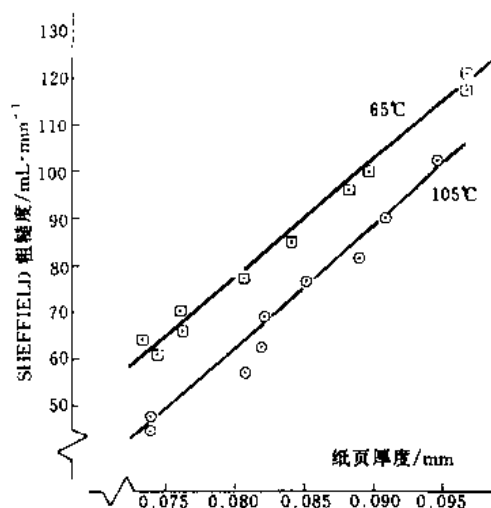


图 17-30 新闻纸压光温度对粗糙度/厚度的关系

17.3 分布控制

纸张质量的变化是从两个方向进行测量和控制的,即纵向(MD)与横向(CD)。在生产过程中,前者随时间而变,后者则主要与纸机横向的位置有关。抄纸的最终目的当然是生产出很均一的产品,而这就需要所有的波动减少到微不足道的水平。

实际上所有的波动都可追溯到流浆箱上浆系统中的高频率或低频率的脉冲情况。近几年来,在确定这些干扰的根源、并利用改进工艺与设备以消除其成因或防患于未然方面取得了显著的进步。例如,在有些上浆系统的压力筛适当排列旋翼片的位置,不仅可避免有潜在麻烦的压力脉冲的强化,还可使得某个脉冲被另一脉冲所抵消。

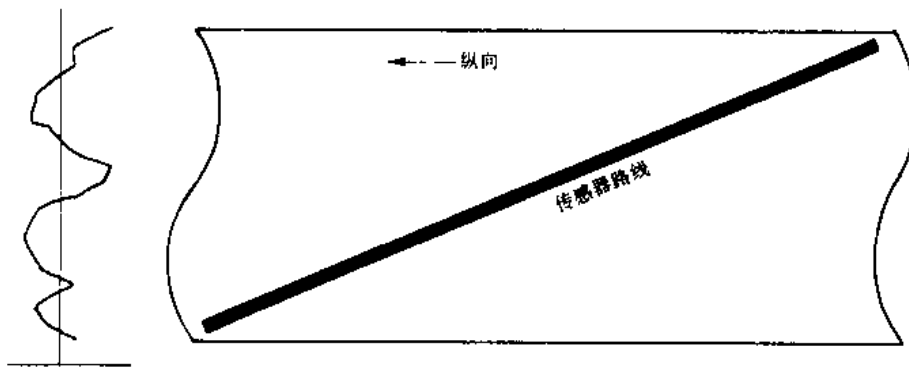


图 17-31 传感器横过纸页的路线与典型的横向分布

眼下将只集中讨论横向分布的控制。但必须承认,当机内横向传感器扫描纸页时,它描绘出对角线行程,测量了“目前的”包括横向与纵向波动的分布情况,如图 17-31 所示。一组典型的扫描分布曲线示于图 17-32。直至叠合的纵向变率从测得的分布上被消除,就无法确定出纯粹的横向分布,并成功地进行控制。做这项工作的传统程序(称为指数的多扫描趋向)是在每个横向位置将日前的测量结果加权到长期的历史数值上,而不是最近的测量值上。使用这种方法,大约需要 10 次扫描以记录下 90% 的逐级分布变化。正在研究各种不同的技术,以提供更快速的横向测量结果^[1]。

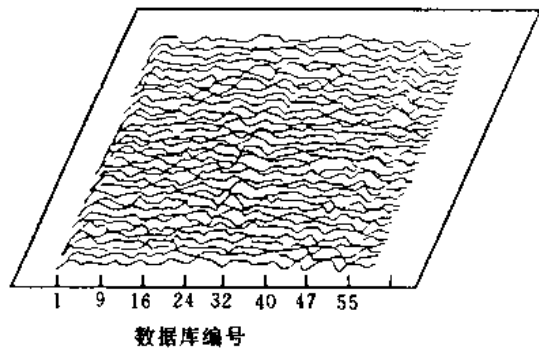


图 17-32 使用机内高速扫描仪的一组横向分布

传感器

有许多不同型式的传感器用于纸张性能的在线测定。传感器一般不直接测出所要的性能,而是给出灵敏度相一致的有关特性。传感的方法包括核子、红外、微波、可见光、磁阻和超声。在少数情况下,将两个以上的传感器结合起来用于特定的测量。

通常将测量各种不同性能的一组传感器安装在来回移动的扫描架上扫描纸页。每个传感器一般包含射线源(例如核同位素、灯泡等)、射线检测仪、模拟和数字电子仪、测量值算法系统(measurement algorithm)、软件程序、和供电。每个传感器必须提供能在高度波动的温度、湿度、和粉尘环境中进行准确测量的封装和设计结构。

最常见的在线测量是定量、水分含量、和纸页厚度。定量一般利用 β —粒子衰减量测定,此时在射线源与检测仪之间的纸张,按其单位面积的重量使放射线衰减。检测器通常是一个电离室,根据纸张或纸板的定量选择相适应的发射同位素的 β —粒子。低定量低水分纸的水分含量一般用红外射线吸收法测定。对高定量和高水分含量的纸张用微波传感器更好些。厚度一般利用磁阻原理以接触式或半接触式传感器进行测定。

控制

第一台扫描仪安装于20世纪60年代,它使造纸工业发现了横向波动的情况。早期的扫描仪主要作为查找纸机故障的监测工具。人工控制横向厚度的传统方法是利用空气射流(即冷风)冷却一个或两个压光机辊。被分别控制的气流(见图17-33)消散掉由辊子高出部位区所产生的摩擦热;使高出区略有缩减,从而获得更为均整的辊子外形。辊子缩减的数量很小,但已足以改变纸页离开压光机时的厚度分布。最早在1973年引入的厚度自控系统,就是基于这个传统的方法。以后连续开发了冷热吹风器、感应加热器和受约束的高热吹风器,使厚度控制能力又有增加。

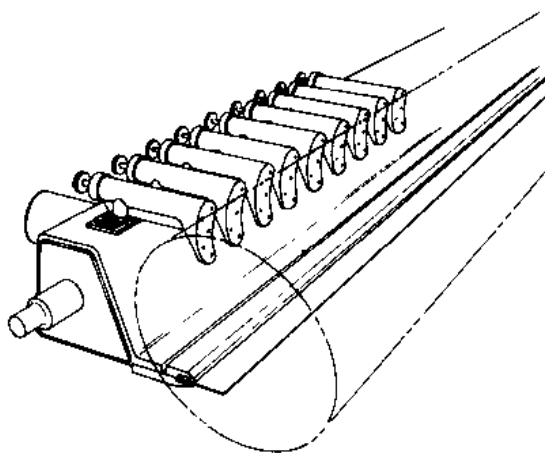


图 17-33 压光机吹冷风(Beloit 公司)

自20世纪60年代后期起,开发了许多人工控制(或减少)横向水分分布的方法,包括在成形和压榨期间喷蒸汽、分区可控中高压榨辊、局部袋通风、分段式烘缸肋条、和增湿喷雾。最早的自动化系统始于1977年,利用喷雾器和蒸汽箱作为控制部件。在20世纪80年代,根据湿部校正与干部校正相结合的办法,水分控制策略迅速发展至更为精确和可靠的程度。喷蒸汽的热压榨仍普遍用于湿部校正水分。可借加入更多热能(例如红外射线)到湿区,或借加入更多水分(利用细喷雾器)到干区,以校正干部的水分。

人工设定堰板微调螺栓曾经是横向定量控制的传统办法。最先试用横向自动定量控制的时间可追溯到20世纪60年代后期。但直到20世纪80年代前期,在使用了先进的堰板微调执行器和先进的控制策略以后才有了进一步的发展⁽⁸⁾。在图17-34所示的一个装置中,执行器包括一个封闭式的同步电机,传动经过160:1的调谐齿轮减速箱,再经过蜗杆螺旋将旋转运动改变为垂直运动。执行器以一根硬直的轴杆(它被限制作水平运动)与堰唇相连接。轴杆用特制的不滑动夹紧装置连接到堰唇。所有这些硬件的目的是要在精确的和可重复的情况下移动堰唇的垂直增加值小至13 μm 。线性可变差示变压器(LVDT)是描绘与各连接点有关的堰唇位置的装置。

用新型的流浆箱设备与控制方法所获得的几何图形示于图17-35,图中在横向定量分布上的改进可有三种情况。安装新堰唇和裙板可改进38%。安装手动遥控的堰唇执行器,总的

可改进 61%。最后,系统利用计算机控制,总的可改进 91%。

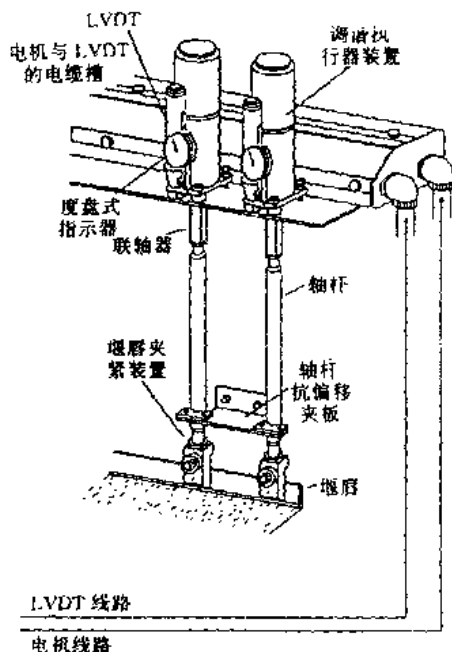


图 17-34 横梁式安装的堰唇执行器

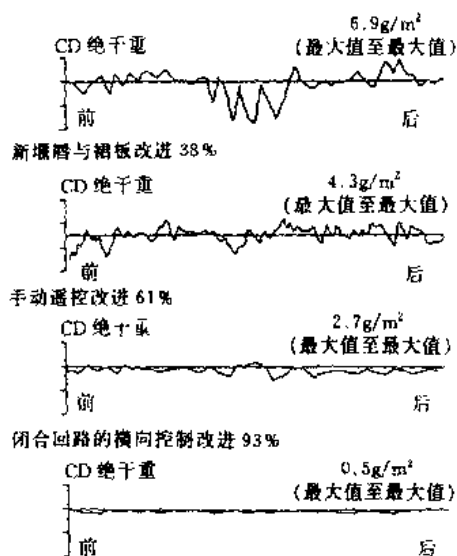


图 17-35 实施横向定量的自动控制,对改进横向分布的三个阶段 (Cutshall)

17.4 卷取

干燥与压光后,纸张成品必须为随后的机外加工集卷成一个适当的形式。通常纸机配备一个圆筒式卷纸机,形式示于图 17-36,它将成品集卷成规定的直径。

圆筒式卷纸机(有的也称“表面卷纸机”)由电机驱动,具有足够的负荷(安培数),以保证从压光机来的纸页有合适的张力。在正常运行时,纸幅卷绕在卷纸缸上,并进入卷纸缸与集纸卷(它由第二摇臂承托)之间所形成的压区。在该纸卷逐渐增大的同时,将一个空卷纸轴置放在第一摇臂上。

在纸卷刚卷到所需直径以前,新卷纸轴借胶轮并随即借第一摇臂对卷纸缸的加压而加速到纸机速度,当纸卷全部卷完时,第二摇臂放松了对卷纸缸的压力,使纸卷的转速降

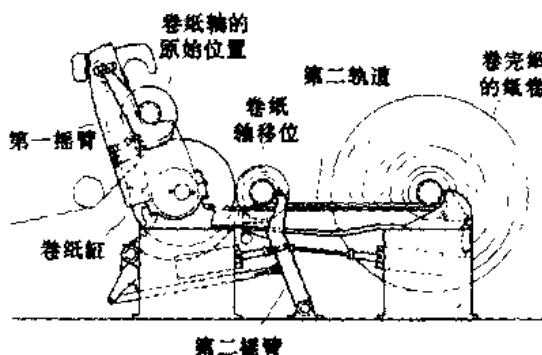


图 17-36 新型圆筒式卷纸机简图

下来;纸卷与卷纸缸之间甩出的纸环随即被气流向上吹起。在适当时刻,卷纸工将纸环打断,使纸页又卷到新辊上。卷完纸的纸卷随即用吊车将它从纸卷轨道移走。

一旦纸张开始在新纸轴上卷绕,第一摇臂就降下来,以使纸轴安置在纸卷轨道上,第二摇臂就接着压住卷纸轴以维持纸卷对卷纸缸的驱动压力。第一摇臂则脱开并回复到直立位置,以接受新的纸轴。

某些老纸机上,在卷纸期间,卷纸工的下述做法仍然很普遍:即他用手拍看横过纸卷面,

或在纸卷的各个部位用棒子敲击听声音检查纸张厚度或密度是否有任何明显的横向波动。但这种监测方式在有横向分布自动控制的新型纸机上已是不必要的了。

17.5 纸机传动

纸机传动系统必须具有在很大范围内精确地单独控制每个分部速度的能力。当纸幅在纸机的各分部之间传送时，必须拉紧纸页以便施加为控制纸幅所必须的张力。各分部的速度协调得不好，或则造成纸页被拉断，或则使纸页松弛而自相折叠，又造成断纸。

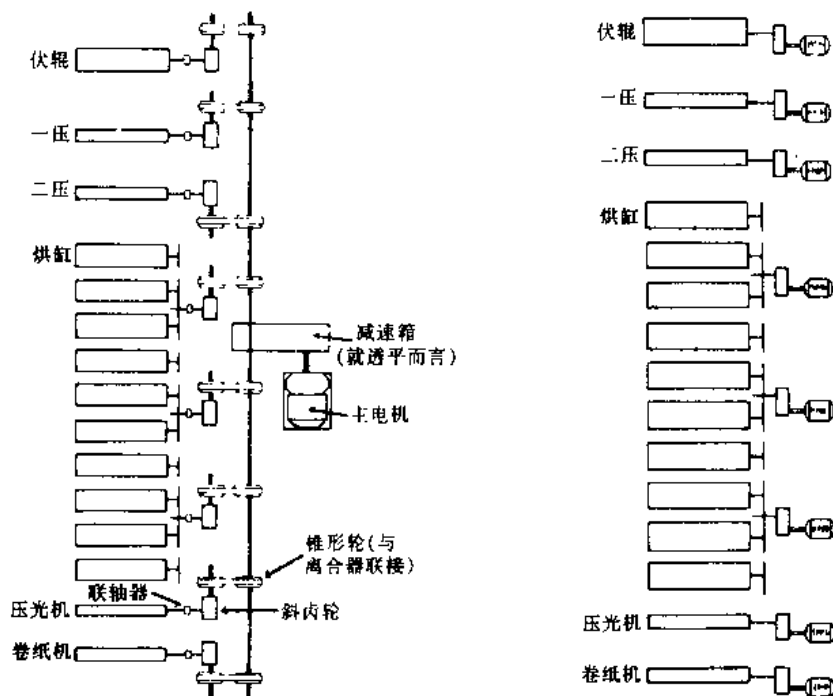


图 17-37 图示纸机传动的基本形式，左为机械传动，右为分部电气传动

有两个基本形式的传动系统使用在纸机上，即机械传动与分部电气传动，如图 17-37 所示。在机械传动系统中，以单一电机（或蒸汽透平）利用与纸机相平行的线轴将电力供给整台纸机，各个分部的内部传动利用各种机械方法传递以调节速度。机械传动系统直到 20 世纪 60 年代都是普遍使用的，但现在只有在老纸机上才能见到。

取代机械传动的是可调压的、直流分部电气传动，通常由一系列用电气联结起来的直流电机组成，所以各分部都以协调的速度进行传动。这种传动形式的操作基于直流电机的速度变化几乎与所有电压成比例的原理。直至约 1982 年，利用模拟速度调节器的直流电机，包括电机供电（例如可控硅整流器）、速度反馈转速表、和调节器，如图 17-38 所示。

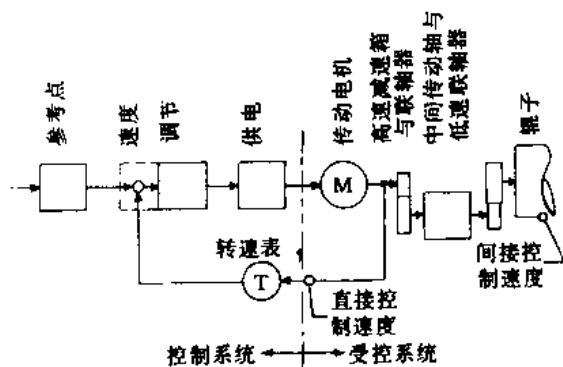


图 17-38 直流分部电气传动的模拟速度调节器

将数字调节应用到纸机电气传动,体现了最新科技水平的控制。直接数字控制使用了将高分辨率、接近绝对准确的调定、和抗漂移综合在一起的微处理机。通常,数字调节器在稳定条件下的准确度,为最高速度的 0.01%,而与之相比较,模拟调节器的准确度则为 0.1%。图 17-39 示出了带微处理机控制的纸机 5 个分部的传动系统。

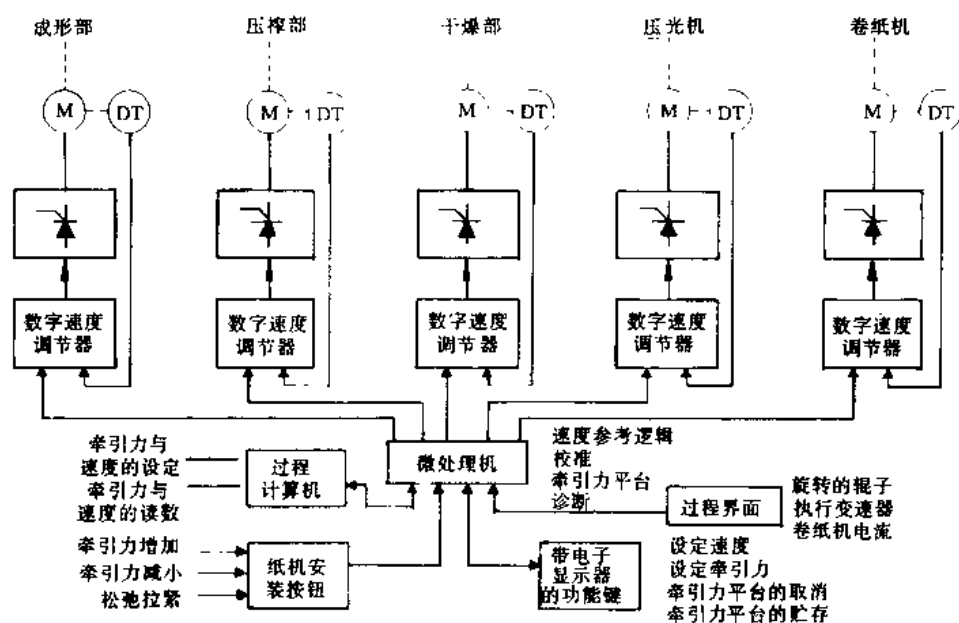


图 17-39 纸机传动用微处理机分部控制

在 20 世纪 80 年代初期,调频交流传动成功地在欧洲和日本获得了发展;该设计有望成为 20 世纪 90 年代的首选传动技术。交流传动运行的原理是交流电机的转速变化几乎与所用频率成正比。要使频率发生变化,首先将工厂供电转换为直流电,然后借数字调节器控制下的半导体装置使直流供电接通和切断,以及处于相反方向。交流传动的最大优点是可使用廉价可靠的交流电机。

17.6 复卷 (Winding)

“复卷”一词本意是指为了进一步加工,将制成的纸幅型产品改变成卷筒型。真正的“复卷”即为发生在纸机上的“卷取”。以后的卷筒至卷筒(即纸辊—纸辊)工序,更准确地可称之为“rewinding”工序。但专业术语(指国外专业术语——译注)已明确将第一个纸辊—纸辊工序即复卷工序称之为复卷,执行这项作业的设备称为复卷机(winder)。

要想深入地了解掌握复卷,技术上可说是非常复杂的。深入研究这个主题显然已超出了本书的范围。所幸的是最近已出版了一本全面描述复卷工艺和设备的优秀专著⁽⁹⁾。

复卷机的任务是将全幅宽、大直径的纸

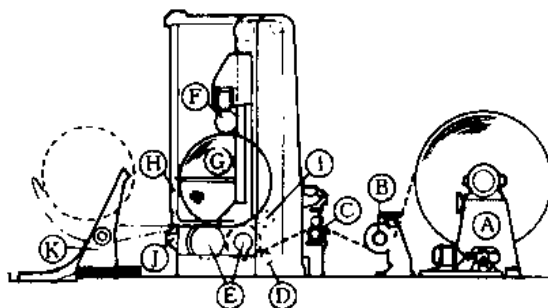


图 17-40 典型双鼓复卷机的侧视图

①—退纸装置 ②—导纸辊 ③—纵切装置 ④—舒展辊
⑤—复卷辊 ⑥—压纸辊 ⑦—纸芯支座 ⑧—压区缝防护
⑨—纸辊退出装置 ⑩—复卷辊插入装置 ⑪—纸辊降落台

卷断开并卷绕成合适规格的纸辊 (roll)。这些纸辊再经外包装后直接送给用户 (例如新闻纸), 或通过以后的涂布、压光或切平板工序进行再加工。复卷时要将纸卷的两端纸边 (一般 3~5cm) 切去并送回干部碎浆机。

最通用的复卷机结构示于图 17-40, 还有其他一些复卷机在结构和布置上虽有不同, 但都使用表 17-3 所示的基本功能性部件。带两个弧形棒的舒展装置的作用示于图 17-41。

表 17 3

复卷机的主要部件及其功能

退纸架	-纵切纸幅并送走纸边
-支持纸卷	舒展棒 (或舒展辊)
-提供制动以控制加速和减速	-舒展纵切后的纸幅以防止纸幅边缘的交织
张紧辊	复卷装置
-给退纸架提供反馈以控制张力	-驱动复卷机
纵切装置 (带导辊)	-控制纸辊结构

全幅宽纸卷利用高架行车从纸卷架输送到退纸架。从退纸架将纸引出通过纸幅张紧辊、可调式纵切机、和可调式舒展棒 (或舒展辊), 卷到纸芯或塑料芯上。通常纸芯中插入钢轴以提供锁紧结构, 但有些新型的“无轴”复卷机利用在其一侧提供一个夹持 (或制动) 面以防止横向漂移。

在大多数复卷机上, 开始复卷时使用一个压纸辊以便对复卷的纸辊提供驱动摩擦力, 当纸辊重量已足以保持压区的压力时, 压纸辊就上举。有些新型复卷机的纸辊与复卷鼓平行排列, 由气动加压提供驱动摩擦力; 该方法给整个复卷过程提供了均匀的压区压力。复卷装置的两个鼓的传动速度略有不同, 以便提供纸辊内的“卷入张力”。

复卷机传动装置必须具有其速度比纸机快 2.5~3 倍的能力, 以便有时间更换纸辊、更换大纸卷、粘接纸头 (以恢复断纸和去除不合格纸张)、调正纵切装置、和调节舒展棒。一次卷出的小直径纸辊称为一组, 有些大规格的纸卷可以卷出 6 或 7 组纸辊。显然, 当提供大直径纸卷时, 复卷机更容易与纸机保持协调步伐, 并生产出标准直径的纸辊。其他将影响复卷机能力的因素为纸卷的状况、在卷纸机和复卷机的断纸、以及需要修复纵切和舒展棒的频率次数的改变。

17.7 纸辊的完成

纸辊完成的步骤为过秤、包装、缩叠 (即将包装纸交叉折叠)、封头 (即将圆形纸粘贴在交叉折叠的端面上), 和贴标签。以前, 所有这些操作都是用人工进行的, 纸辊完成是很费劳动的工序。今天, 绝大多数包装作业已经半自动化, 标签工作由数据处理印刷单元完成。

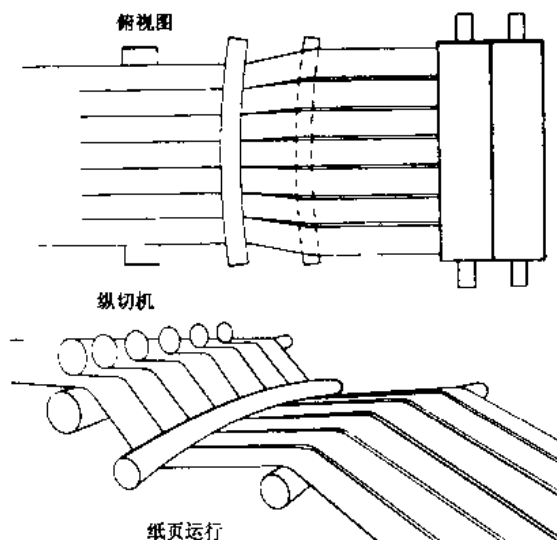


图 17-41 带两个弧形棒的舒展装置简图
(Beloit 公司)

新闻纸厂新型的纸辊完成系统示于图 17-42。该系统用三个基本操作工每天即可轻松地处理 2000 个纸辊。

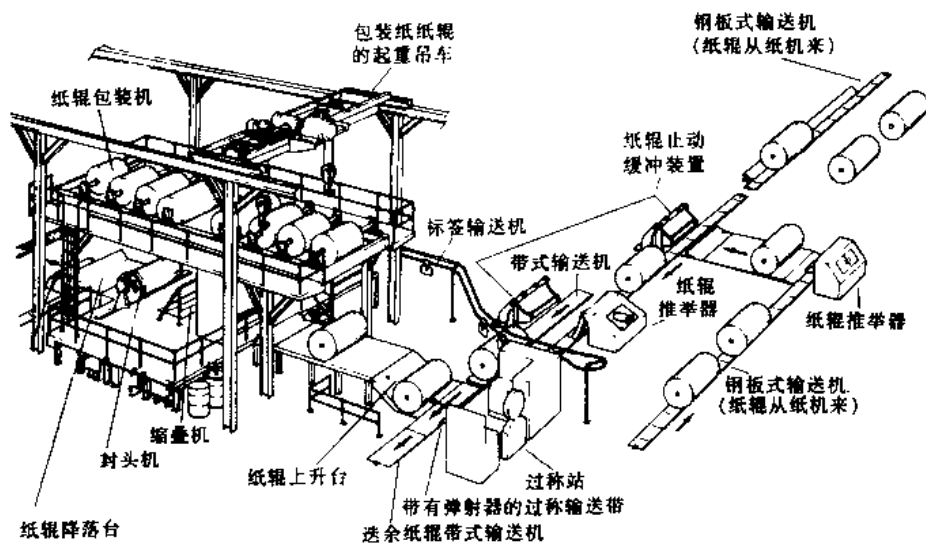


图 17-42 Bowaters Newfoundland 纸厂的纸辊运送和完成系统

参 考 文 献

- (1) **Recommended Tensions in Dryer Felts** TAPPI TIS 0404-04 (1984)
- (2) ROUNDS, D. A. and GARVIN, S. P. **Rotating and Stationary Siphons in High-Speed Dryer Sections** *Tappi Journal* (October 1991)
- (3) PULKOWSKI, J. H. and WEDEL, G. L. **The Effects of Spoiler Bars on Dryer Heat Transfer** *P & P Canada* 89 : 8 : T258 (August 1988)
- (4) EDGAR, C. B. **Sheet Flutter Can Be Reduced Through Use of Single Felting...** *Paper Journal* (January 15, 1977)
- (5) REESE, R. A. **Process Monitoring Can Upgrade Performance at the Dryer Section** *Pulp & Paper* (January 1979)
- (6) CROTOGINO, R. H. and GRATTON, M. F. **Hard-Nip and Soft-Nip Calendering of Uncoated Groundwood Papers** *P & P Canada* 88 : 12 : T161-169 (December 1987)
- (7) TAYLOR, B. F. **Optimum Separation of Machine-Direction and Cross-Direction Product Variations** *Tappi Journal* (February 1991)
- (8) CUTSHALL, K. A. **Cross Direction Control, a Major Factor in Paper Uniformity** *Canadian Mill Product News* (November 1990)
- (9) FRYE, K. G. **Winding** *TAPPI Press* 1990

[您的需要]



对您不断变化的需求，我们始终给予关注和回应，并尽全力为您的业务拓展助一臂之力。正如您对世界一流的特种化学品公司所期待的那样，我们为制浆造纸业提供系列广泛的染料、化学品和荧光增白剂。我们面向市场的研究和开发方案，造白性强的生产设施、一体化的营销、分销和服务网络确保我们随时满足您的需要。

- 走向成功的关键一环。

Exactly your chemistry

科莱恩(中国)有限公司 造纸化学品商务组

香港新界荃湾德士古道 178-182 号，山德士中心一至五楼。电话：+852 2406 4111，传真：+852 2407 6458，网站：www.paper.clariant.com

第18章 表面处理

18.1 施胶

施胶的目的主要是使纸张能抵抗水溶液的渗透。这种处理还可提供更好的表面性能与改善纸页的某些物理性能（如表面强度与内结合力）。

造纸工作者所采用的两个基本施胶方法是：内部施胶和表面施胶。这两个方法或单独或结合使用。内部施胶是用松香或其他化学品借影响接触角而降低水的渗透速度。表面施胶一般利用淀粉粒子充填纸页表面的空隙，减少孔隙半径并从而减少液体的渗透速率。表面施胶与内部施胶相比较的有关优缺点，归纳在表 18-1 中。内部施胶已在 15.3 节中叙及，这里就不再讨论。

表 18-1 表面施胶与内部施胶相比较的优缺点

优点	缺点
<ul style="list-style-type: none"> - 有更特殊的作用：最优化控制 - 对湿部操作的改变不敏感 - ---100%的助剂留着率 - 湿部结垢减少 - ---由于结垢减少，延长了压榨毛毯的寿命 - ---提高纸张的质量 	<ul style="list-style-type: none"> ---需要另外增加施胶和干燥的设备投资 ---需要另外增加干燥的能量 施胶压榨的故障可引起纸机停机

表面施胶最常见的是在干燥部中间被称为“施胶压榨”的机内施胶点进行。对于纸板类，胶液可施加在压光机组上。对于质量最高级的纸张，可使用称为槽法施胶（tub sizing）的机外作业。表面施胶液中最常用的材料是经过蒸煮的或改性形式的（如经氧化的或经酶转化改性的）淀粉。常将石蜡乳剂或特种树脂加入到淀粉溶液中。其他有些助剂可用于改进强度和光学性能。

传统的施胶压榨

胶液通常施加在两辊的压区内，所以称之为施胶压榨。传统的施胶压榨结构分成立式、水平式、或倾斜式，示于图 18-1。在所有情况下，其目的都是要使胶液灌满压区的进口侧；在压区内纸张吸收若干胶液并除去剩余胶液。溢流胶液收集在位于压榨下部的料盘中，并又循环返回到压区。立式结构的走纸最容易，但每个压区内纸页两侧的胶料池深度不等。水平式布置的施胶压榨由于在纸页两侧的胶料池深度一样，解决了不等量吸附的问题。倾斜式结构是两者的折中，是为避免水平式施胶压榨不易处理垂直走纸而研制出来的。

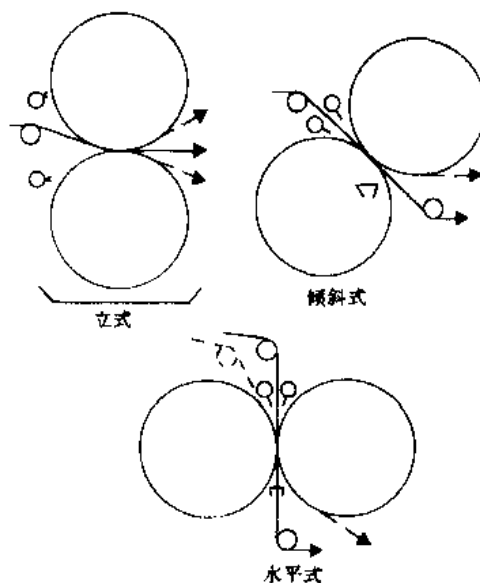


图 18-1 传统的施胶压榨结构

纸页在施胶压榨的胶料池和压区内的停留时间很短,因而操作时必须小心控制以保证纸页横幅均一地吸收所需的固形物量。同时,又要将吸收的水量减至最少,以便在随后干燥时维持最低水平的蒸汽用量。影响施胶压榨作业的主要变数归纳在表 18-2 中,每个施胶压榨的用途都是特定的,必须根据其特殊要求和条件加以评估和优化。

在施胶压榨将淀粉液引入纸页,有两个基本的作用机理。首先是纸页吸收胶液的能力;其次是经过压区以及纸页与辊子表面分离时的液膜量。对于增大吸收能力的有利条件是,胶液粘度低(胶液温度高)、纸机车速低、纸页水分高、纸页气孔度高和内部施胶量少。增加液膜厚度的有利条件为,纸页粗糙度高以及压区压力低。

纸页水分含量对吸取胶液有重要影响。虽然高水分含量促进吸收作用,但一般还是将水分控制在 4%~5% 或以下,以保证水分的均一分布并使施胶剂更靠近表面。

表 18-2

影响施胶压榨吸移固形物的变数

纸页品性	— 粘度(流动性)
— 原纸基质(定量、密度、平滑度、毛细管结构、孔隙大小等)	— 成分(淀粉种类与助剂)
— 内部施胶的程度	设计与操作
水分含量	— 纸机车速
施胶液	胶料池深度
固形物含量	— 压区压力
— 温度	压区宽度(受辊硬度与直径的影响)

影响吸移、胶液粘度和固形物含量的因素很容易控制。虽然如此,固形物浓度一般都维持在与所希望粘度相协调的最容易操作的水平上,以便尽量减少必然要在以后蒸发掉的水量。

传统施胶压榨的局限性

在较高车速时,传统施胶压榨的胶料池开始从移动的纸幅和辊子表面吸取动能。随着纸页更快地移向压区,压区压力使多余的胶液以更大的作用力往回和(或)往上流动。最终水力作用大至使胶液击破池面并溅出压区外。这种料池扰动的后果是纸机横向的固形物吸移量很不均匀。

在较高车速时,还使更多的胶液量留在施胶压榨压区出口纸张与各辊之间的表面上,随着纸页离开压区,各胶液膜不均匀地开裂成两层,一部分留在纸上,一部分留在辊上。结果又使固形物的吸移量不均。

传统施胶压榨的另一个问题是,两个辊的速度配合在高车速时变得更为严重。很小的速度差就可使纸张表面有印痕并增加断纸。

改型施胶压榨

对设计稍作修改,就可使传统施胶压榨在较高车速下成功地运行。例如,较大直径的辊子可以更易控制料池湍动。有时用塑料挡板使纸张与辊子的高速表面跟料池隔离开来。

为了彻底解决料池问题,有许多新型纸机现在使用若干门辊式的施胶压榨。门辊施胶压榨的结构示于图 18-2,它在两侧都有一个不跟纸页接

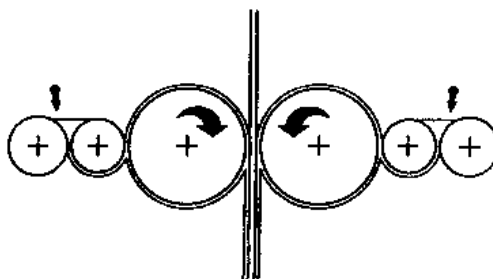


图 18-2 门辊式施胶压榨

触的转移料池 (offset pond)。转移料池通过计量压区控制进入第二压区的胶液量。第二压区控制薄膜的均一性并最终将薄膜转移给施胶压榨辊。门辊系列中的所有辊子都在不同转速下运行以尽量减少薄的开裂。

使用门辊结构有可能增加淀粉胶液的浓度,从而减少“后干燥段”的蒸发负荷并使淀粉保持在纸页表面上。尽管如此,与裂膜有关的问题仍然存在,并可能因淀粉胶液浓度的提高而严重化⁽¹⁾,而且用门辊装置替代传统的施胶压榨,还包括以6个辊替代2个辊,从而使最初投资提高并增加维护费用。

门辊的维护与裂膜问题,又促使开发了用刮刀或刮棒计量的施胶压榨。在大多数设计中,用短停留式涂布头提供胶料,并以弯形刮刀或刮棒与涂布头相结合以控制湿膜厚度(图18-3)。(参见下节短停留式施胶器和刮刀/刮棒计量装置的讨论)。

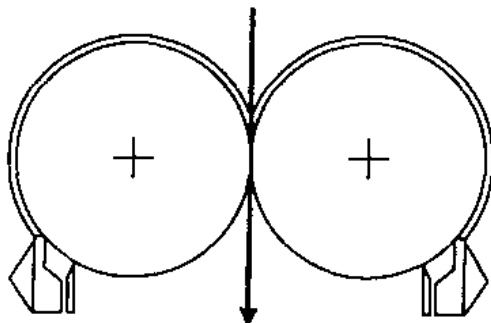


图 18-3 配有短停留施胶器的施胶压榨

作涂布用途

虽然施胶压榨的最初目的和主要用途是将胶液施加到纸张上,但其功能已有了很大扩展。目前该设备还用作颜料涂布和其他专门的表面涂覆用途;但仍然保留其施胶压榨的术语。

若干印刷纸生产商目前在淀粉胶液中加入颜料作为提高产品附加值的一个手段。用这种方法,有不少颜料渗入纸页,颜料的总吸纳量限于 $3\text{g}/\text{m}^2$ 左右。尽管如此,这种处理已足以明显改进印刷性能,这些所谓的涂颜料纸 (pigmented paper) 在那些不愿为涂布纸或超压纸付出额外高费用的用户那里找到了市场。

淀粉的性质

淀粉是借葡萄糖单体的聚合作用在谷物、木薯、土豆和其他植物中所合成的碳水化合物。聚合物以两种形式存在:即约 500 个单体的线性结构和有几千个单体的有枝结构。线性聚合物称为“直链 (amylose)”,占了普通谷物淀粉中 27% 含量,而有枝聚合物称为“支链 (amylopectin)”占了其他的 73%。经分级的淀粉供作专门用途。

淀粉系以白色粉状晶粒供应,由于其邻链之间的聚合结构和氢键,而不溶于水。但当将水悬浮液加热时,水就能渗入晶粒并使它们膨润,根据其浓度大小形成“胶状”液或浆糊。热溶液冷却就会变稠,称之为“回凝 (setback)”。在施胶压榨上所用的淀粉都是用间歇或连续方法蒸煮过的⁽²⁾。

不经分级的与不经改性的淀粉称“原淀粉 (pearl starch)”属于“煮稠” (thick-boiling) 型并倾向于“凝胶化”或回凝 (即使没有冷却)。使用含 100% 支链的淀粉 (“蜡状淀粉”),形成清亮的浆糊且没有凝胶化倾向;但降低了施胶效率,因为线性分子对形成薄膜起很大作用。

使用化学或热改性的淀粉可获得较低的粘度和回凝阻力。例如,可在工厂用酶改性法制备出薄膜成形性能和回凝阻力不受影响的低粘度、煮稀 (thin-boiling) 淀粉。根据所要求的性能,供货商可利用许多化学方法将干淀粉制品改性。或另一方面,用户也可在制备施胶液时使用适当的改性方法 (例如酶、热、热/化学)。

在传统的施胶压榨上实际使用 4%~10% 固形物的低粘度淀粉胶液,以便获取每吨纸产

品 30~50kg 的淀粉吸附量。门辊压榨则使用较高的浓度。压光机组可使用较高粘度的淀粉液,在那里要求渗透更受到限制,最典型的淀粉吸附量为每吨纸 5kg。

淀粉的制备

淀粉可用间歇或连续法进行蒸煮,间歇蒸煮作业(图 18-4)常在一个敞口的搅拌槽中进行,用直接通汽或通过加热器循环加热经过计量的水与干淀粉混合。该溶液加热到 88~93℃ 并在此温度保温 20~30min。使用直接蒸汽时,在通汽点要保持扰动的混合条件,这对提供均匀加热是很重要的。淀粉悬浮液的温度应保持低于沸点以避免泡沫和飞溅。因为蒸煮温度受到限制,在间歇系统中一般可使用预改性的淀粉。

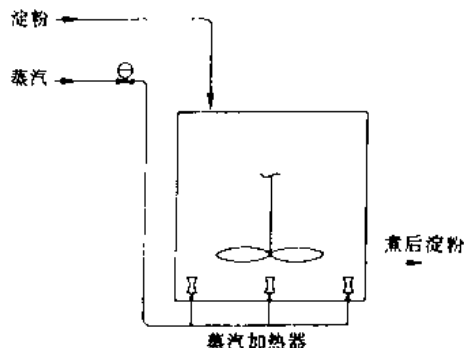


图 18-4 淀粉间歇蒸煮器

多数连续系统的核心是一台喷射器,利用其高速蒸汽能量起混合和加热的双重作用。在所谓的热射流系统中,蒸汽完全分散在悬浮液里,然后在管道内停留足够长的时间使蒸汽完全冷凝。温度上升极为迅速,且控制蒸汽压力以获得所需的最终温度。由于射流蒸煮系统是带压的,且可在高温下运行,因此可用于未改性淀粉的热变性。

压光机施胶

高定量纸及纸板通常在压光机上进行表面施胶,以便改善压光作用及获得光滑的、抗塑变的印刷表面。通常利用水箱施加胶液,水箱上带有与压光辊相接触的强化橡胶唇板(参见图 18-5 与图 18-6)。胶液被带上辊面进入压光机压区,从而施加在纸板上。可在压光机组一侧装设一个或多个水箱,如果希望纸页两面吸附等量胶液,则可在另一侧装设同等数量的水箱。胶液吸附量部分受控于纸页粗糙度与吸收能力;因而在纸页尚未被压紧的压光机顶部装设水箱,就可吸附更多的胶料。压光后需进行干燥,以蒸发掉随胶液带人的水分。在干燥后往往需对施胶纸再进行一次压光处理。

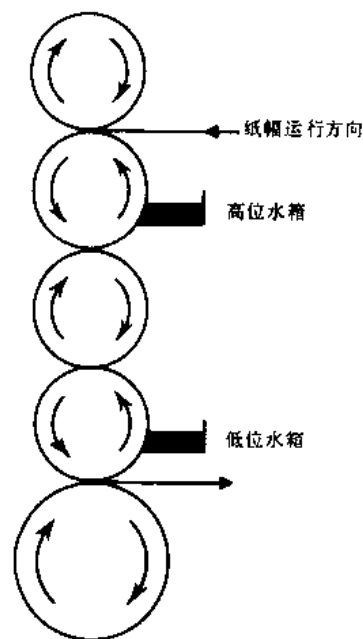


图 18-5 配有水箱的压光机组

槽法施胶

最终的施胶处理是槽法施胶。该法是使纸页运行经过一个装有淀粉液和其他助剂的浅槽,多余胶液使纸页通过一个轻压区加以除去。通常用吹热风完成施胶纸的初步干燥,以避免破坏胶膜。

槽法施胶的目的不只是改进表面性能,而且还充分地浸润纸页以改进诸如层间粘合强度、耐破度、挺度和抗张强度等性能。槽法施胶有时在机内进行,但在机外进行效果

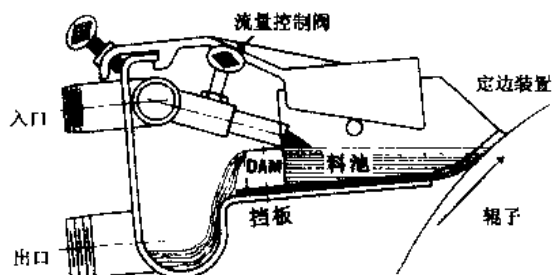


图 18-6 水箱的布置 (Lodding 工程公司)

较好。

18.2 颜料涂布

印刷和包装方面的先进技术已对纸表面提出了更高要求。为适应这种更严格的要求,许多纸张的表面都用合适的高颜料配方的胶料进行涂布,以改进光泽度、光滑度(slickness)、色泽、印刷性和明亮度。涂布可在机内或机外进行,取决于产品需要与操作特点。

涂布工艺一般可分为颜料涂布或功能性涂布。涂布这一术语通常无条件地是指颜料涂布。功能性或防护性涂料(例如油漆、罩光漆、蜡、树脂等)更经常的是作为后加工工序的一个部分在机外施加(见23.2节)。虽然施加淀粉胶液严格地说也属于功能涂布过程,但这种作业常称施胶而不称涂布。

用作涂料的矿物质颜料与填料相类似(见15.3节),只是通常略细一些;它与粘合剂及其他成分混合后涂覆于纸面上,提供适当的整饰与抗磨性能。

所施加的涂料填满了纸面的孔隙区域(图18-7)。在干燥与压光后,涂料就给出一个光滑均匀的印刷表面。但只有当原纸(coating raw stock)匀度良好且没有尘埃点时才能生产出满意的涂布纸。原纸不好,表面处理也无补于事,这方面的质量要求通常比未涂布纸更为严格。原纸一般在涂布作业前进行施胶,以便控制特定涂布剂表面吸收率。

涂料配方

各种各样的涂料配方多得惊人。一个含有10个以上组分的涂布剂并不罕见,有些涂布剂可含15个以上的不同组分。许多情况下,由于在纸张涂布本身与涂料分散处理性能方面的更严格要求,涂料配方已有了演变与发展。尽管其组分可能十分庞大,传统上仍将各类成分大致归纳成三大类:即颜料、粘合剂与助剂,如表18-3所列。

分散在水溶液中的涂料总固形物含量范围从50%至70%以上。配料中80%~90%的干重由颜料组成。瓷土是最常用的颜料,按其白度与粒子规格又分好几类。其他的颜料有硫酸钡(主要用于照相纸)、碳酸钙、合成硅酸盐、二氧化钛与塑胶颜料。 TiO_2 由于其价格较高,只用于特种纸。塑胶颜料(聚苯乙烯)与其他颜料配合使用以提高纸张的光泽度。缎白(satin white)系用消石灰与矾土配制而成,在北美很少使用;因为北美利用丰富的其他颜料混合物可以更容易地制得光泽涂布纸。

胶粘剂的作用是将颜料粒子牢固地粘结到纸面且又彼此互相粘结。应根据产品最终用途的要求,使用最低程度的粘合剂。必须记住,最终干燥完的涂料并不是一个连续性薄膜,而是颜料粒子共同粘结在其接触点上的一个多孔结构。如果用的粘合剂太多,就会堵塞孔隙而失去若干光散射能力。

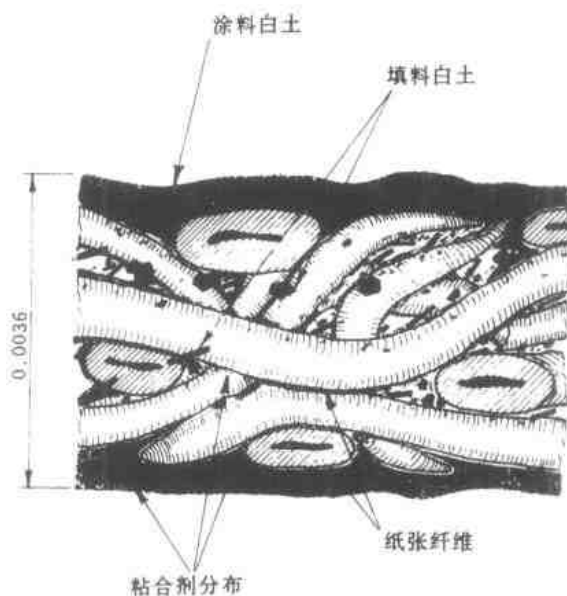


图 18-7 涂布纸的剖面 (N. Bearce)

表 18-3

典型的涂料组分

组分	举例	功能
颜料	白土	构筑细小的多孔结构
	CaCO ₃ (沉淀的)	提供光散射表面
	TiO ₂	
	塑胶颜料 (聚苯乙烯)	
胶粘剂	水溶性胶粘剂 (胶、淀粉、树胶、干酪素、大豆蛋白等。)	将颜料粒子粘结在一起。将涂料粘结到纸上
	聚合物乳剂 (胶乳、丙烯酸、醋酸聚乙烯。)	强化原纸
		填满颜料结构的微孔
助剂		
——不溶粘料 (耐水剂)	甲醛供体	使涂料对水不敏感
	乙二醛	
	乳胶	
——增塑剂	硬脂酸盐	改进涂料薄膜的柔韧性
	蜡乳	
	azite	
流变控制剂 (增稠剂)	天然聚合物	控制涂料粘度和保水性能
	纤维素衍生物	
	合成聚合物	
分散剂	聚磷酸盐	优化颜料的分散性
	木素磺酸盐	
	硅酸盐	
防腐剂	甲醛	防止生产中涂料的腐败
	β -萘酚	
消泡剂		控制泡沫问题
		消除气泡
染料	色淀染料	用于涂料的染色
	直接染料	
	酸性染料	

涂料胶粘剂可分为三类：淀粉、蛋白质、合成物。淀粉与蛋白质胶粘剂继续是许多配方的组成部分，虽然它们倾向于为合成物所取代。合成物主要是胶乳（以苯乙烯—丁二烯、丙烯酸或醋酸乙烯聚合物为基础）。蛋白质胶粘剂或为干酪素（它用酸化法从脱脂牛奶中分离出来）、大豆提取物或为动物胶。

涂料助剂在 1958 年以前用得很少。这以后进行了不少科学研究，目前使用助剂的目的是为了适应涂布设备和产品最终用途的特殊需要。

涂料配制室 (coating kitchen)

因为涂料混合物的各种组分在物理和化学特性上有很大不同，一般做法是将每个组分单独地分散与贮存，然后按所需比例混合在一起。这些操作一般在称为“涂料配制室”的集中地点进行。

有若干组分必须制备后才能使用。例如，如果颜料和胶粘剂是以干燥状态购买和贮存的，就需要补充分散或溶解作用。假如准备使用全部组分时，操作顺序为，根据预先设定的配方指令，将每种组分量后从贮槽进入高粘度混合器，充分混合后送入搅拌槽。在新型系统中

加入各组分只要按动一系列按钮或将穿孔卡插入计算机控制盘即可,然后各个组分就按重量或体积自动计量。间歇或连续系统的流程示于图 18-8 和图 18-9。

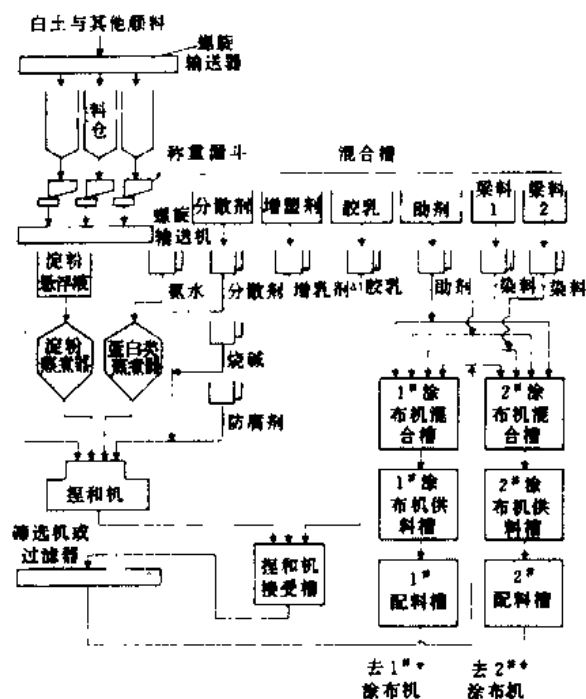


图 18-8 间歇式高固形物涂料制备系统

几乎在配制和应用涂料的每一段都使用滤网,以保证外来杂物和过大的固形物不能进入到产品或在设备表面积聚。没有分散的或过大的颜料、颜料凝聚块、或不溶解的胶粘剂,可在过程的各个阶段积累起来,必须在酿成事故前除去。

涂料悬浮液的流变学

流变学是物质变形和流动性能的科学。流体力学一般只考虑牛顿流体的行为,其特点是恒定的粘度。但淀粉溶液和颜料悬浮液属于许多对流变学有意义的、具有变形—速率相关性的物料,即其粘度是非线性的,且随流动情况而变。必须控制住涂料悬浮液的流变性,以使涂料可容易地泵送,而且还可在涂布系统的高剪切条件下顺利地完成任务。

由于它们对涂布系统设计和开发方面的潜在影响,很有必要将流动行为与各种各样的分散加以量化。这方面已积累了大量的经验数据,并形成了涂布专题的实际理论框架⁽³⁾,但对相互作用的分散体系行为仍缺乏充分了解。

机内与机外的比较

涂布作业可在机内或机外进行。每个方法都可能有很大争论,而且这两种做法的相对优

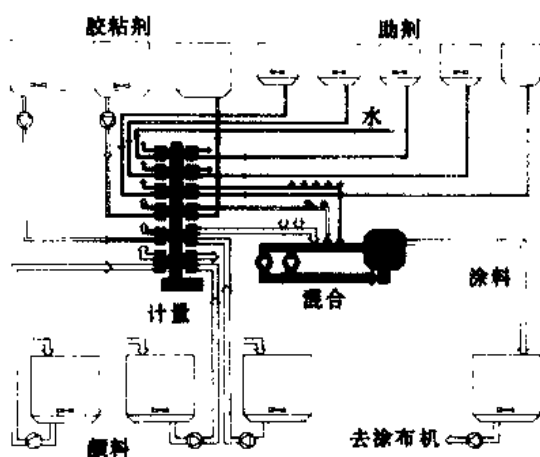


图 18-9 连续式涂料制备系统流程图 (KMW)

缺点与成本效率的讨论仍在继续。因此在特定情况下的做法应根据推理判断确定。其相对优缺点归纳如表 18-4。

表 18-4

机内与外涂布的比较

机内涂布的优点
——免去涂布原纸纸辊的贮存与输送，从而减少了装卸与纸辊破损
——占地面积减到最小
——操作用工减到最小
——促使早期辨认出原纸的质量问题
机外涂布的优点
——提供较大灵活性
——便于更换品种
——可修改涂布的技术条件而与纸机条件无关
——可处理从不同纸机来的产品
——不存在各工序之间的相互依存关系（即涂布机或纸机的停机不影响其他作业）
——提供卓越的涂布质量

一般说，机内涂布最适用于轻度至中度涂布以及质量要求不太严格的场合。大多数涂布设备都是既适合于机内又适合于机外作业的，但少数特种工艺最好还是使用机外涂布。

涂布机

大量单面涂布机，以及为同时进行双面涂布而精选的设备都是由设备制造商提供的。有些纸张生产商只需单面涂布；单面涂布一般容易控制而且以后的干燥作业也比较简单。许多双面涂布纸是用中间带干燥装置的两个涂布点生产出来的。绝大多数涂布机的设计具有下列特点：

(1) 将涂料均一地施加在整个纸面上。

(2) 计量或减薄涂层以控制其定量或厚度。

(3) 使表面平滑匀整。

首次进行机内涂布是使用从施胶压榨改造的设备。在 Massey 辊式涂布机（图 18-10）中，由一系列计量或转移辊供应涂料，使涂料在到达两个大涂布辊时能平整光滑及均匀地铺展开。通常有一个或几个计量辊是带振荡的。改变辊间压力以控制涂料的转移量。

在气刀涂布机（图 18-11）中，纸页从旋转在料槽中的涂布辊上吸取涂料。然后纸页又经过一个回头辊（胸辊），用强烈气流冲击纸页，整平涂层并吹去多余涂料。在该设计中，气流角度正确以及在整个纸机幅宽有均匀的强度是非常重要的。

棒式涂布机（rod coater）的主要原理示于

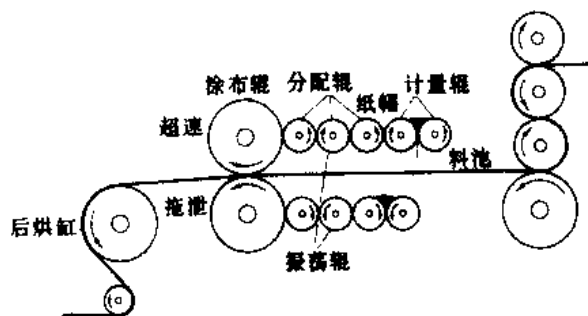


图 18-10 Massey 辊式涂布机

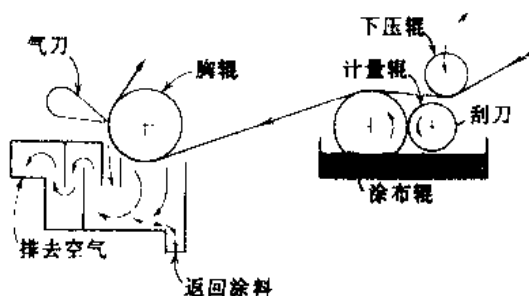


图 18-11 气刀涂布机

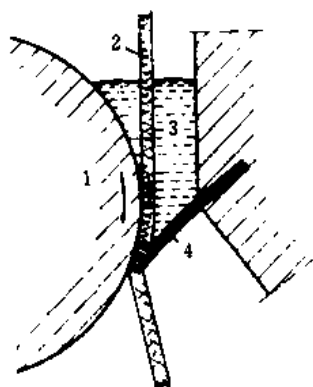


图 18-16 Billblade 双面涂布系统的原理

1—辊子 2—纸幅 3—涂布料 4—刮刀

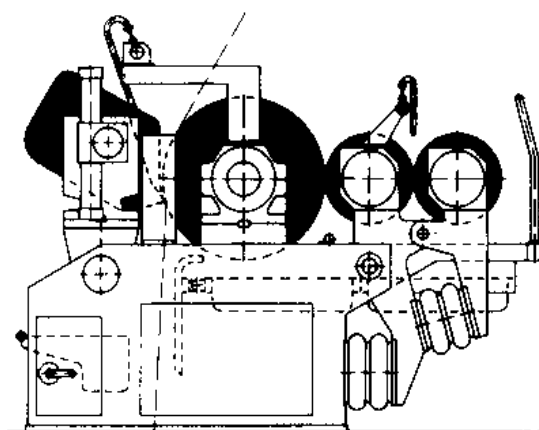
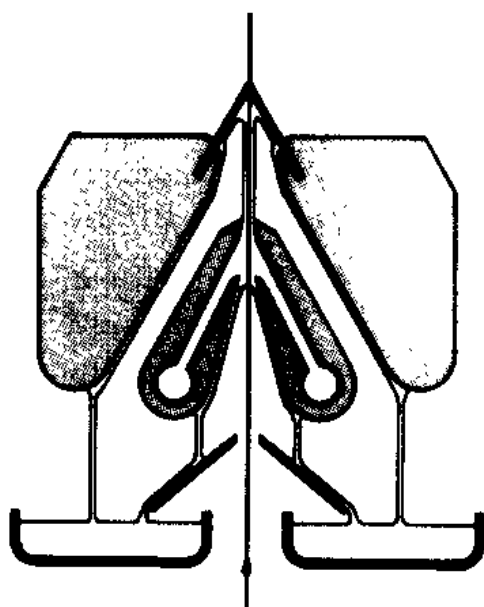
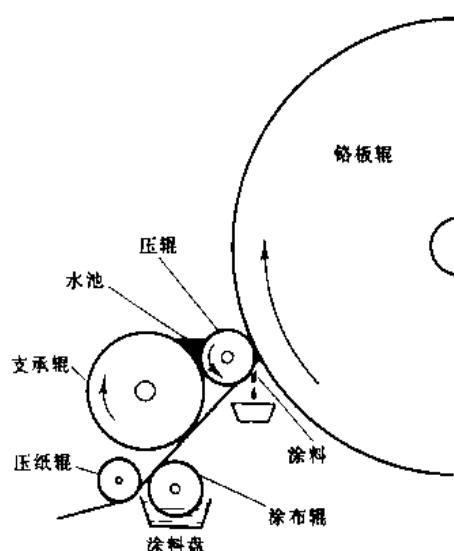
图 18-17 带备用计量辊的 Billblade 涂布机
(Inventing SA)图 18-18 显示出循环系统的对刀式涂布机
(Inventing SA)

图 18-19 铸涂

被称为铸涂的机外专用技术是用于生产高光泽度和高平滑度纸张的。在这里，湿涂布后的纸张在干燥阶段被压而与高光泽的大径烘缸（称扬克烘缸或光泽烘缸）接触（图 18-19）。该工艺的所有步骤都要非常小心。原纸必须非常疏松多孔，这样在干燥时水蒸气才能穿过纸页排出。胶粘剂必须具有在湿态时粘附到热铬面而在干燥时又分离开来而不粘连的能力。

短停留的概念

在涂布机的设计结构中，无论是进行气刀、转棒，还是刮刀式涂布，迄今均观察到在上涂料与计量/平滑作业之间有一个适当的时间滞后。虽然经历的时间很短，但对若干水和胶粘剂渗入纸页来说已够长的了，因而从纸面刮下来的涂料成分就与留在纸页上的略有不同。这种情况导致涂布成分的不一致，有时被认为是一个重要问题。

虽然发展短停留涂布机设计的推动力已存在不少时候，但直到 20 世纪 80 年代前期，才

由 Consolidated 纸厂推出了一项突破性结构,如图 18-20 所示。利用送入流体而使池内产生湍动,并借供料泵与出口堰的调节保持压力。随着这项新结构的披露,设备制造商立即开发出了他们自己的短停留涂布系统。

涂料的干燥

有时,用传统的蒸汽烘缸方法干燥涂料(见 17.1 节)。但更经常的是必须使用避免干扰涂膜的其他方法,最常用的两种方法是热风冲击和红外干燥⁽⁴⁾。

置于传统蒸汽烘缸上面的高速对流汽罩是干燥单面涂料的最通用方法。隧道式干燥是另一种适用于单面和双面涂布纸页的方法。在该法中,控制空气温度以适应干燥需要和纸机车速,面纸张则由案板支持或由气流承托在滚轮上被带经隧

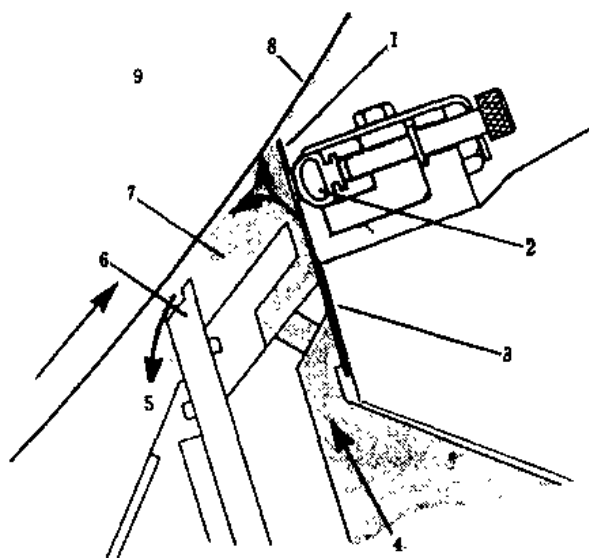


图 18-20 短停留涂布装置 (Consolidated 纸厂)

- 1—拖曳刮刀 2—加压和压型管 3—刮刀夹持片
4—涂料入口 5—多余涂料出口 6—调节堰
7—压力下的涂料 8—涂料后纸张去干燥部 9—支承辊

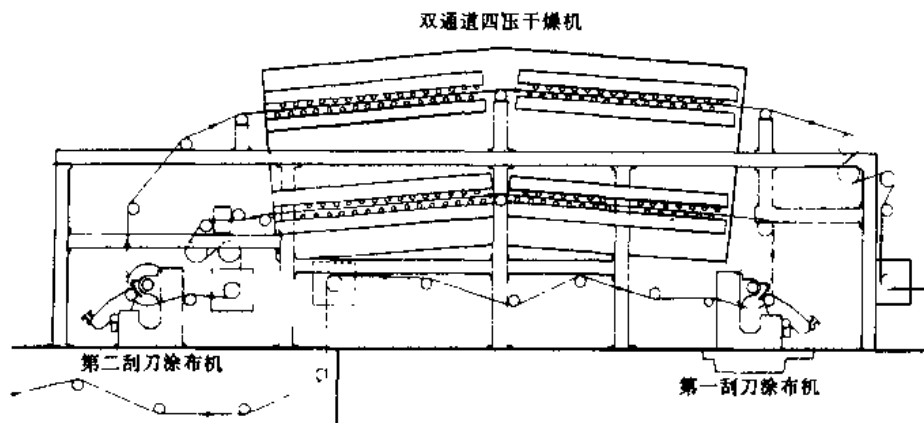


图 18-21 在各段机内刮刀涂布后的气垫干燥机

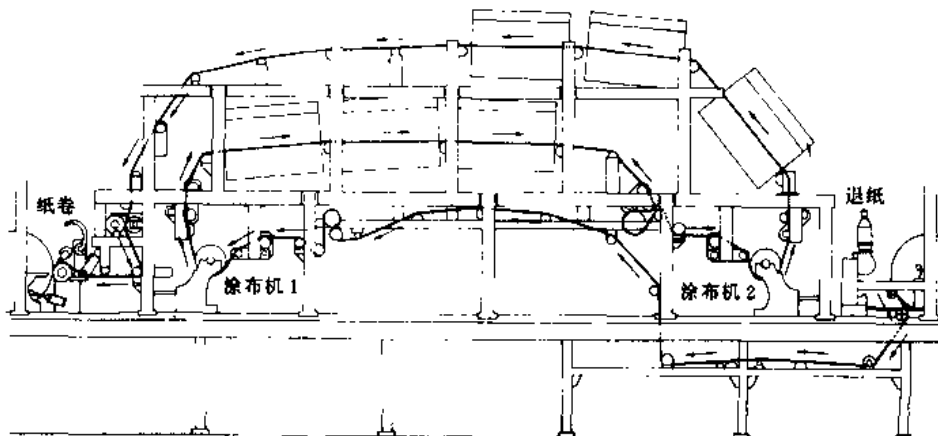


图 18-22 机外涂布机的气垫干燥装置

道。图 18-21 示出一套完整的包含两个单面涂布辊（后随各自的干燥机）的机内涂布系统。图 18-22 则示出类似的机外涂布系统。

红外发射器（通常为燃气型）提供一个紧凑的、高强度热源，它传递能量不需任何物理接触，对干燥涂料是很理想的。但由于红外射线装置只是一个热源，尚需提供空气带走涂料所蒸发出来的水汽。因此有些干燥装置为更有效地运行，将红外与气流冲击原理结合起来。

影响涂布纸性能的因素

有 5 个一般性因素在决定涂层性质与均一性方面是比较重要的⁽⁵⁾：

- (1) 原纸表面性能。
- (2) 涂料成分。
- (3) 涂布方法。
- (4) 干燥方法。
- (5) 超压程度。

原纸的表面性能从两方面影响涂层匀度。表面粗糙度对涂布厚度均一性有重要影响；而表面吸收性能则决定实际涂层的组成。当涂料开始接触纸面时，纸页结构内部的毛细管作用力使水溶性组分渗入纸页的微孔，在纸面上留下来浓集的颜料粒子部分。

在涂料配方中，胶粘剂的形式和数量对涂布结构有明显的影响，因为它影响流体渗入原纸的速率、颜料粒子之间的充填程度、以及干燥的速度。涂层的基本结构从根本上更与颜料粒子的规格和形状以及填密程度有关。涂料中的助剂通常将决定干燥后胶粘剂的柔韧度和随后超级压光时颜料粒子的再排列。

图 18-23 示出原纸用三种常用技术涂布后的剖面放大图。气刀涂布机倾向于沿原纸的外轮廓粘附上一层均匀的涂膜（即有良好的覆盖）。辊式涂布机提供良好的覆盖，但裂膜作用带来条纹状纸病。刮刀涂布机能把表面浅凹处很好填平，但以牺牲涂层厚度的均一性以换取平滑度。每种涂布方式都有其不同的涂层；因此，有些涂布作业进行多次涂布步骤，以便融合两个或更多个方法的优点。

干燥条件对涂料结构的影响可能很重要。如果涂料干燥得太快，那些涂层较厚或吸收速率较慢的区域将保持较高比例的胶粘剂，从而得到不同的涂料结构。随着涂布作业速度的增加，在上涂料与干燥之间的时段变得更短，这个问题可能更为严重。

在干燥期间，涂层厚度有某种程度的缩减。缩减的程度主要与最初涂料分散体中的固形物含量有关，但也受颜料形状、分散程度和胶粘剂物理特性的影响。如图 18-24 所

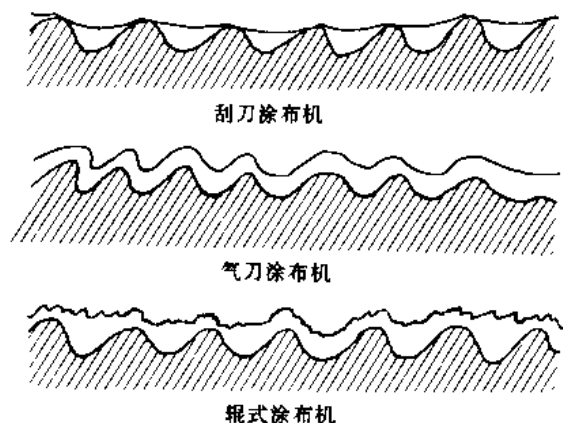


图 18-23 用三种不同方法涂布后纸张的剖面图

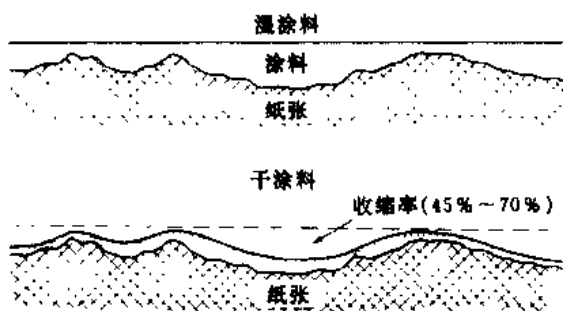


图 18-24 涂料干燥时纸张重现粗糙度

示, 由于原来纸页粗糙部分的复原, 缩减作用是不希望发生的; 这个问题在低涂布量时更为严重。

涂布纸常进行超级压光以压紧涂料结构, 并获得更高的平滑度。如果涂料结构不均一, 超级压光很可能将进一步增加其不均一性。涂料结构中, 胶粘剂相对较多的区域, 其光泽度不如邻近区域, 纸页就显现出细小的花斑。

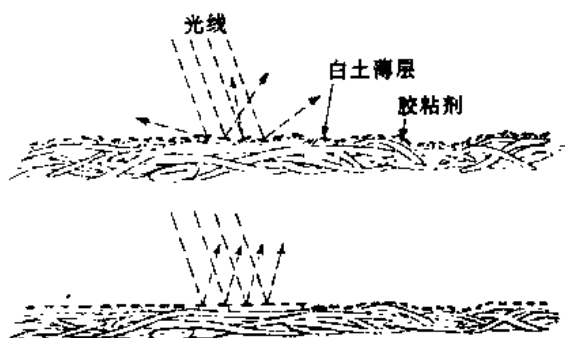


图 18-25 超压前后白土涂布纸的剖面示意图

涂布用白土是一种片状白土(高岭土)。在最初施加涂料时, 白土“薄层”的排列方向是很乱的, 如图 18-25 的上图所示。为了形成高光泽表面, 这些薄层的很大一部分必定呈近乎平行于纸面的定向排列。在超级压光的高压下, 随着胶粘剂被压过颜料粒子, 发生了这种重新定向。在超级压光的表面来的光反射更呈镜面状, 从而提高了光泽度。如图 18-25 下图所示; 但低凹区则不受影响。超压涂布纸表面的放大图示于图 18-26。

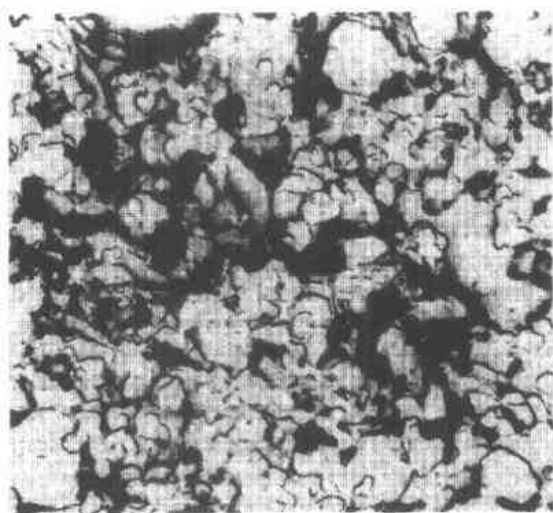


图 18-26 白土涂布的超压纸表面的电子显微扫描

18.3 超级压光

典型的独立配置超级压光机包括一组金属硬辊与压缩纤维软辊立式交错布置的辊子。纸幅从退纸架导入压光机组的顶部, 经过各个压区, 并从底部出来进入再卷装置。纸幅总是绕导纸辊引入每个压区以防止挟带空气从而使纸页产生皱折。典型布置示于图 18-27。该设备用以提高诸如涂布和非涂布高质量印刷纸的平滑度和光泽度。

纸机压光前而已经讨论过了(见 17.2 节)。对多数纸种面言, 用钢辊硬压区就可获得所需的平滑度。但如果需要有一个高光泽的平滑纸面面又不过分压缩纸页, 就需要不同形式的压光作用。机内软压区压光机现在成功地应用于中等质量的纸种。但对生产最高质量的印刷纸, 尚不能满意地替代超级压光机。

利用超级压光所获得的独特效果, 归功于具有弹性和塑性特点的中间纤维辊(亦称纸粕

印痕,任何损坏了的辊子必须立即更换。而在纸机或涂布机上,频繁停机和耽误是不能容忍的。

参 考 文 献

- (1) KLASS, C. P. **Trends and Developments in Size Press Technology** *Tappi Journal* (December 1990)
- (2) KLEM, R. E. . . . **Selecting the Optimum Starch Binder Preparation System** *Pulp & Paper* (May 1981)
- (3) KLIEE, J. E. **Rheology of High-Solids Dispersions** *Tappi Journal* (February 1984)
- (4) GRANT, R. L. **Drying Pigment Coated Papers and Boards-A Review** *Paper Tech* (March 1991)
- (5) LEPOUTRE, P. **Paper Coatings: Structure-Property Relationships** *TAPPI* 59: 12: 70-75 (December 1976)
- (6) SCHMIDT, S. and KIRBIE, R. **Recent Supercalender Developments. . .** *Pulp & Paper* (April 1981)

第 19 章 多层纸板制造

纸板也可不精确地称为“挺且厚的纸”。纸张与纸板之间的分界线不是那么明显，但 ISO 标准将 $224\text{g}/\text{m}^2$ 定为纸与纸板的分界线。因此定量 $224\text{g}/\text{m}^2$ 以上的材料称为纸板，定量轻于此的就归入纸张类中。虽然厚度没有标准，定量 $224\text{g}/\text{m}^2$ 大致相当于约 0.25mm 厚度。纸板可由单层或多层组成；它们可在单长网或单圆网成形器、或一系列同型的或综合型的成形器上制造。表 19-1 列出一部分纸板的品种。附有术语描述的多层纸板基本结构示于图 19-1。

表 19-1

纸板品种

挂面纸板——至少有两层的纸板，面层的质量相对较好；通常在长网机上用 100% 原纤维配料抄成（见 20.4 节）。

食品纸板——具有单层或多层结构的食品包装用纸板，通常用 100% 漂白原纤维配料抄成。

折叠纸板（盒纸板）——制取折叠纸箱的多层纸板；面层用原纤维浆，其他层则用二次纤维。

粗纸板（Chip Board）——以 100% 低级的二次纤维制成的多层纸板。

原质纸板（Base board）——最终要进行涂布或覆盖的纸板。

石膏纸板（Gypsum Board）——以 100% 低级的二次纤维制成的纸板，用于塑料板的外表面。

多层纸板是将两层以上纸幅固结成单一纸板，用以制造刚挺纸箱、折叠纸盒和类似的产品。传统上都是用圆网成形器生产纸板的各层；诸如圆网成形、多圆网纸机等术语几乎已是制造多层纸板产品的专用术语。在前些年将本章标题冠以“圆网成形”是很恰当的。但是新一代的纸板成形器不能再归入到这一类的门下，而更适合于看作广泛意义上的圆网成形。

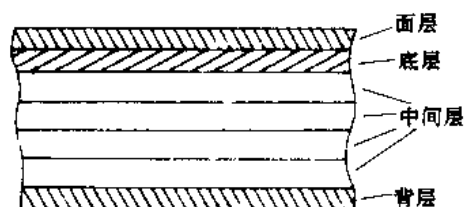


图 19-1 多层纸板剖面

多层纸板成型的主要优点是有可能在纸板内层利用廉价的低级废料（主要是旧报纸和其他的废纸），因为内层较低的低纤维强度和所存在的杂质（油墨、涂料等）对纸板的质量不会有什么影响。多层纸板的工厂一般都建在大城市附近，紧靠纤维供应点和销售市场。与其他纸张品种不一样，多层纸板常常制成指定的厚度，而不是指定的克重。

二次纤维的运送和碎浆方法已在第 14 章介绍。浆料处理技术（精磨、筛选、净化等）基本上与用于抄纸的相似。但是因为许多种配料有可能同时用于一台多层纸机上，浆料制备系统就相当复杂。例如，面层、衬层、芯层和背层可能都需要有单个的系统。通常，制造品种的范围很广，浆料制备系统必须要十分灵活。

19.1 多层成形器

圆网成形器最初是在 1807 年获得专利的（用于抄纸）。在 1870 年，将许多这类成型器串

联起来用于生产多层纸板,从那时起,绝大多数纸板品种都是由圆网纸机制造的。

稍后,传统的长网机进行改造,通过加上一个第二流浆箱,使有可能在网案上纸页尚为湿态时,在第一层上面再施加第二层。这项技术广泛应用于制造挂面纸板(见20.4节)。

虽然在20世纪上半叶,圆网纸板厂也逐渐有所进步,但很明显,抄纸领域的重要进展并没有相应体现在圆网纸机上。因此,在20世纪50年代,有若干低定量纸板的市場就已输给了长网纸机。1960年以后,这种情况有所扭转,多层制造技术的进展给人以深刻印象。这段时期,推出了许多质量好生产率又高的成形装置。目前应用分层射流的流浆箱装置,可在一个成形部中生产出多层结构的纸页。

圆网成形

在圆网成形器上形成纸幅的原理实际上跟重力式脱水机是一样的(见第9.6节)。套有金属网或塑料网的卧式网笼在存有稀浆料的网槽中旋转。浆料中的水穿过网笼排出,纤维层沉积在网上。排水速率取决于浆料性质,并取决于网槽液位与网笼内白水液位之间的压差。利用软胶面伏辊,纤维层不断地被送到移动的毛毯上。

估计大约80%的现有网槽是逆流型的,如图19-2所示。在这种形式的网槽中,稀浆液流动与圆网旋转方向相反,纸页在最高浓度处开始成形。虽然可形成较厚的浆层[即可至0.010in或10mil(0.254mm),商业上称10“点(point)”],但这种成形方法问题不少。因为网笼逆着浆流方向旋转,部分沉积纤维连续地从网笼上被冲刷掉,形成“斑点状”的凝集纤维束。这种纸页还因纤维沉积方式而带有极端的方向性(纤维定向)(注:方向性通常用测定纸样纵向和横向的张力值之比得到。对圆网的纸板,典型值为5.0,与之相比较的长网纸的值则低于2。)这种极端的方向性形成较高的横向挺度,但相对应的纵向挺度很低。

与浆流和网笼之间速差有关的若干问题,通过使用顺流式(即浆流与网笼旋转为同一方向)网槽(图19-3)而得以解决。但是,改进匀度与减少方向性是以降低浆层厚度为代价而得到的。在最低浓度处成形,造成网笼的原始沉积层很薄。顺流式网槽最适用于只有0.05mm以下的层厚。在多网槽圆网机上,最典型的办法是面层和衬层使用顺流式网槽以提供外观,芯层和底层则用逆流式网槽以提供所需厚度。

虽经改造,所有传统的圆网成形器仍在速度上受严格限制(约在100m/min以下),而且横向定量的均一性很差。机宽由于圆网两端排出白水的困难,也限于4m左右。

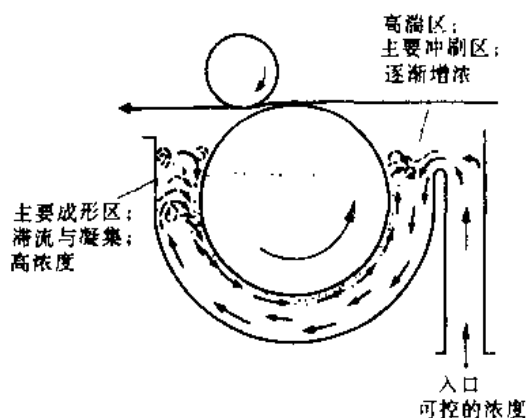


图 19-2 逆流式网槽

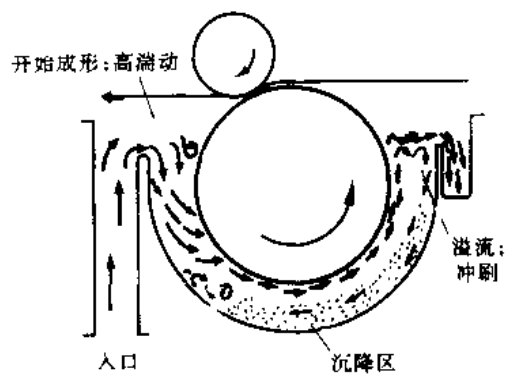


图 19-3 顺流式网槽

干式网槽

干式网槽概念的发展,源于认识到在网笼浸没到浆液的最初期间内,即有大量纤维沉积在圆网成形器之上。通过将浆料限制在一小段的网槽内,使得浆料不易发生冲刷作用且成形良好,而又不牺牲太多的成形能力。有些逆流式网槽利用特制的密封装置隔离所选定的一部分网槽,示于图 19-4。这种结构有利于维修和清洗,且减少了成形装置之间所需的空间。浆料入口的改进也可改善定量的均一性。

虽然由于更先进成形器的出现,圆网成形器现在似乎已经过时,但一家荷兰的纸厂在 1986 年还是建成了在所有 9 个成形位置都采用这种圆网成形器(具体设计不详)的纸机⁽¹⁾。大约在同时,在英国一家纸厂安装了类似的纸机。

真空成形器

通过进一步限制成形面积和利用真空脱水,在成形器设计方面取得重要进展。Sandy Hill 公司在 20 世纪 60 年代前期推出的 Rotoformer 成形器,使用一个借堰池调节器控制的可调式成形区(图 19-5)。最初的成形是在液压下产生,然后用逐渐增加真空度的可调式真空箱,使纤维进一步沉积和脱水。利用堰池调节器可将浆速控制到与网速一样,从而使纸页成形时的方向性大幅减少。

有大量的 Rotoformer 成形器在使用中,一般生产的层厚在 10 点(0.254mm)以上。当用真空引纸辊取代橡胶伏辊时速度可达到 300m/min。

Rotoformer 成形器推出不久,又出现了许多类似的设计结构,包括 Tampella 真空成形器(图 19-6)。各种设计的主要差别是在进浆装置(它们使用了新型流浆箱设计)和真空部件的数量上。

压力成形器

Beloit 公司修改其真空成形器的设计,

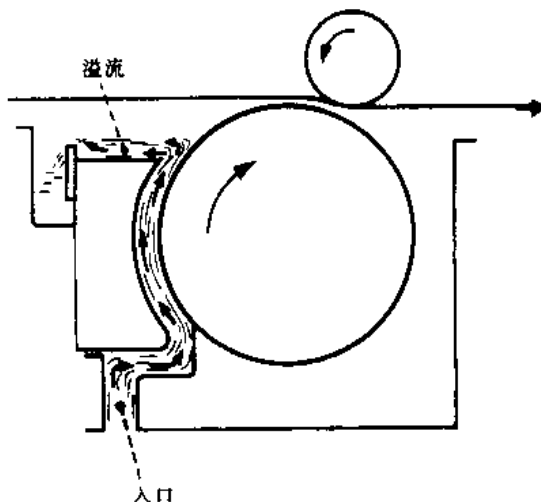


图 19-4 可调节的干式网槽

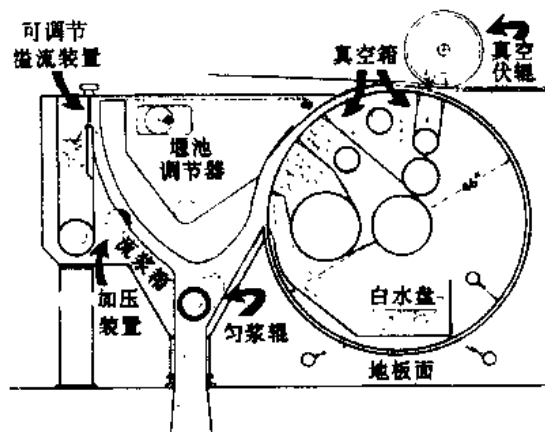


图 19-5 Rotoformer 成形器的通用结构
(Sandy Hill 公司)

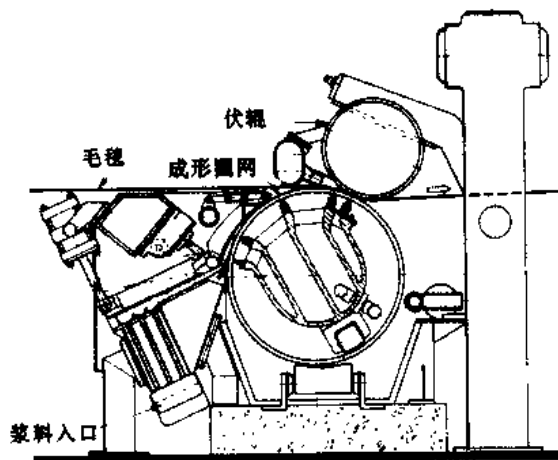


图 19-6 Tampella 真空成形器

制成了液压式成形器（压力成形器），示于图 19-7。已经发现，当在成形顶盖内部去掉真空系统和逐渐增加液压时，很容易控制压差。其次利用可调式喉部控制流量，简化了液压流道。其他惟一的操作变数是盖板（它协助控制成形压力）的面积和伏辊位置。

其他制造商也开发了不少类似的成形器。液压式成形装置的主要优点是能在现有的圆网上安装，从而找到了一条以适中价格改造老纸机的途径。虽然一般来说压力成形器的设计结构比较简单，其操作速度和生产能力要低于真空成形器。近来，为获得更大的脱水能力和更快的操作速度，采用了兼具液压和内部真空的更先进设计。

面上型成形器（on-top former）

迄今所讨论的所有成形器的共同特点都是吸移湿纸页并将其带上毛毯的背面。这种递纸方式受操作速度和纸页干度大小的限制。另一个问题是湿纸页在进入压榨部以前必须平直，通常做法是使成形部分反向运行至纸机的其余部分，并以一个长距离的返程翻转毛毯。很少将脆弱的湿纸页从一张毛毯传递到另一张进入压榨部的毛毯。

余下要讨论的成形器是将湿纸页置于毛毯或编织物的上面。这项措施消除了速度和脱水的限制。但在管理和维修上必须加强，因为纸页易受到水滴和漏水的侵害。

叠网（Inverform）

英国发明的叠网装置是在 20 世纪 50 年代后期研制出来的，目的是解决圆网成形器制造多层纸板时在质量和速度上的局限性。基本上，该系统包括一个长网，在其上面放置几组带

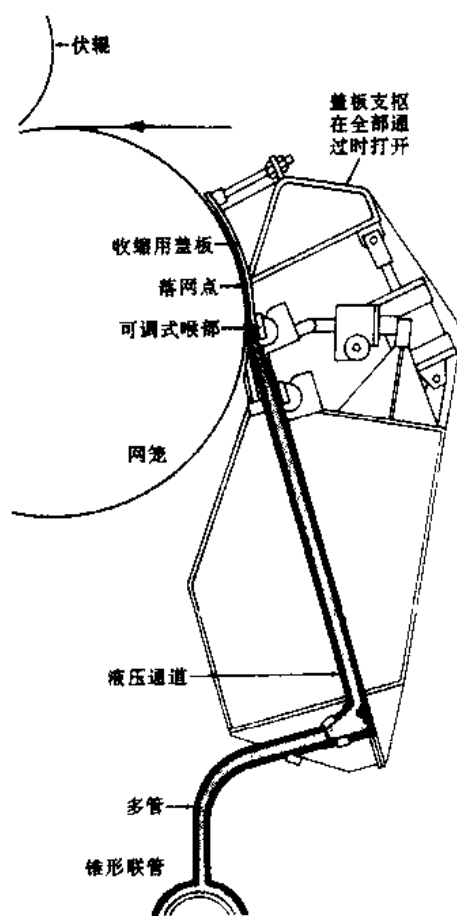


图 19-7 Beloit 液压式成形器

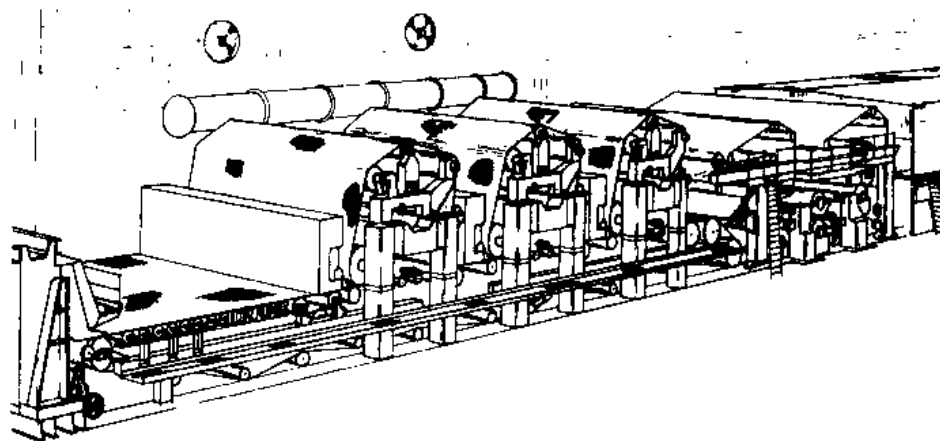


图 19-8 叠网装置的布置

顶网成形器 (top wire former) 的二级流浆箱 (见图 19-8)。一般情况下, 面层在长网上形成, 然后在主网与顶网成形器之间覆盖上其他各层。此时主要是向上脱水, 这就避免了脱除的水要穿过逐渐加厚的底层纸幅。

虽然叠网的基本概念没有变, 多年来对顶网成形器已作了不少改进。叠网显示出有可能生产出实际上相当于长网纸那样的纸页。但因为一次性投资高, 以及因为比其他纸机需要更熟练的操作和看护, 只有北美一家纸厂选择安装了这种成形系统。

叠网的后续发展

叠网的发展刺激了各制造商在顶网成形器设计结构上迅速发展, 全部目的就是生产出高级多层纸板。Tampella 面上成形器 (图 19-9) 是其他传统的真空成形器的一种改型。Arcu-成形器 (图 19-10) 又进一步改进了设计, 利用顶网成形器中的两张网以改进脱水和加快速度。

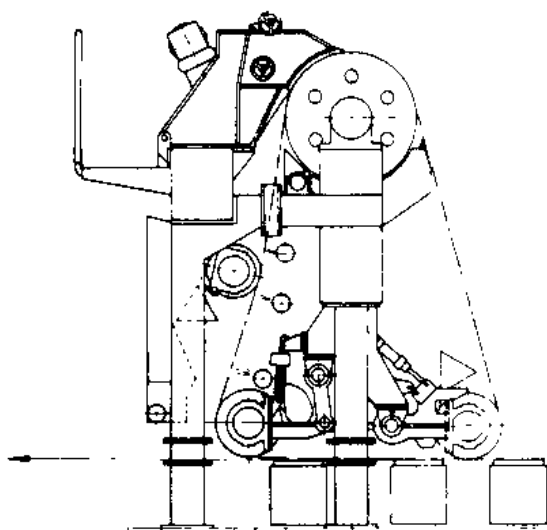


图 19-9 Tampella 面上型真空成形器

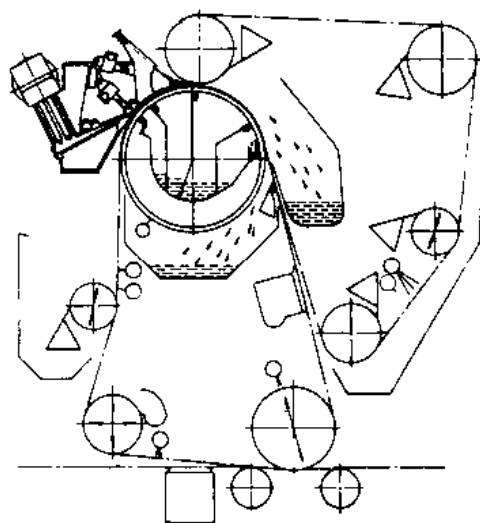


图 19-10 Tampella Arcu-成形器

北美、欧洲和日本的所有主要纸机制造商现在都可提供单网和双网上成形器的多种选择。

超级成形器 (Kobayashi 机械公司)

超级成形器的发展体现了面上成形的不同做法。基本超级成形器保留了圆网成形器的外形, 如图 19-11 (包括后来的改良版超级 C 型成形器特超级成形器和超级双网成形器) 所示。浆料从新型流浆箱送到圆网笼的成形网面上, 然后纸幅夹在毛毯与网子中间, 逐渐增加的压力产生了脱水作用。在最大脱水点维持很小的“湍池”以协助层间粘合和成形。毛毯及粘附纸幅在回转约 200° 后离开网笼, 越过真空箱, 继续去到下个部分。

虽然基本超级成形器可制取高质量纸页, 但由于旋转网笼表面的离心力原因, 速度还是受到一定限制。所设计的改进型超级成形器已相继达到较高的速度范围, 只是在投资和复杂性方面大为增加。

多长网

在 20 世纪 30 年代, 有些欧洲纸厂以几个单独的长网成形部生产纸板, 使各个纸幅还在湿态时就能结合在一起。虽然这种方法在投资和操作费用上比较贵, 但可在高生产率下生产出优质多层纸板。

多长网的概念在 20 世纪 70 年代又被重提, 在过去 15 年内, 主要是在欧洲, 已安装了大

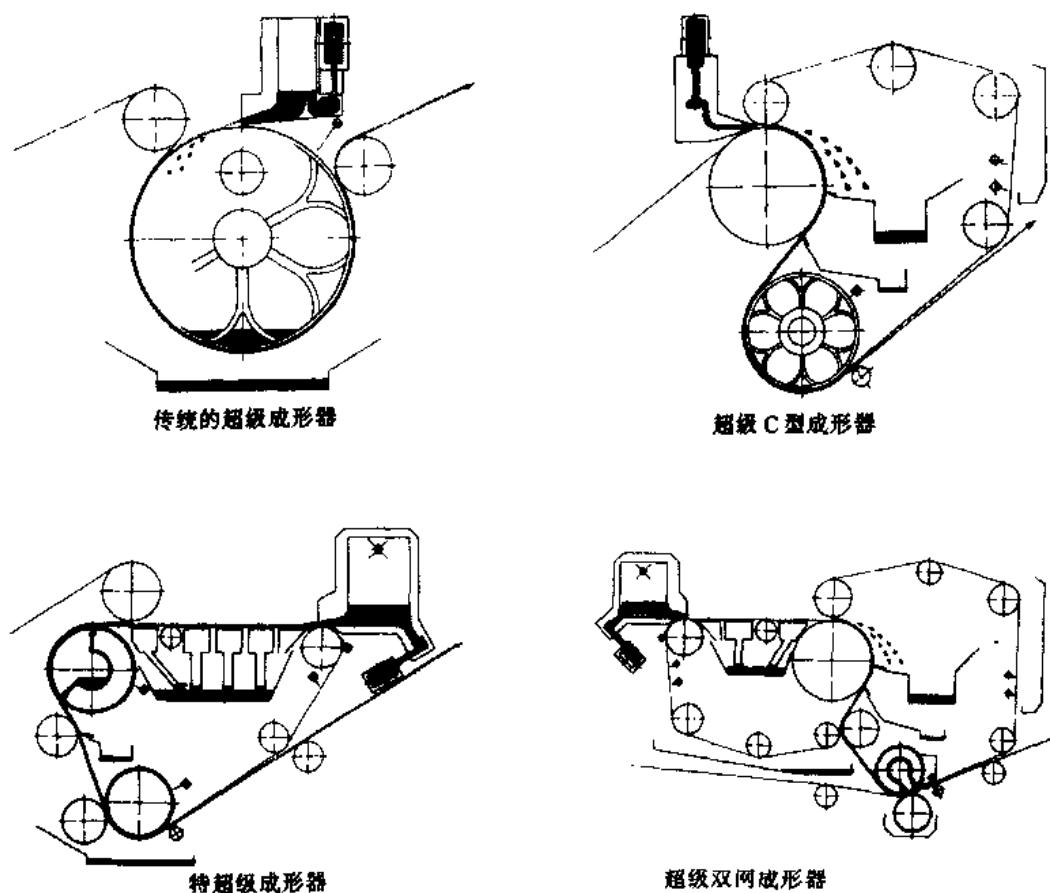


图 19-11 超级成形器系统 (Kobayashi 公司)

量带长网成形部的多层纸机⁽²⁾。为了使这项技术为制造纸板服务,纸机设计者已研制了若干平面式或水平式的成形设备,这种成形设备类似于带有高性能流浆箱和卓越脱水能力的长网机。图 19-12 示出带有长网成形器的纸板机。

多长网纸板机一般用于中低定量的纸板。通常实际因素将层数限制在 4 层,所以纸板结构的型式也略受限制。一般要用原纤维或其他比较干净的配料。多水平作业可认为是其不足之处,但优点是它只包含传统的长网抄造。

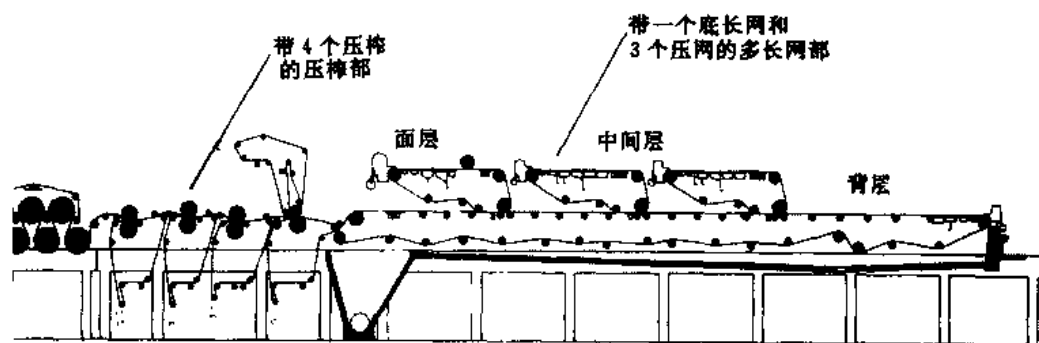


图 19-12 多长网纸机 (Voith 公司)

多层流浆箱

多通道流浆箱（图 19-13 和图 19-14）的发展，提供了在喷浆射流内部产生出几层结构。这种方法原则上可只用一个或两个成形装置就可生产出多层纸板。特别是与生产能力很大的双网成形器联系起来，具有以更为紧凑的湿部生产出中低定量多层纸板的可能性。

与传统的多层技术比较，流浆箱射流层之间有更多混合，可获得更好的层间粘合。但由于互相混合，面层和底层的覆盖就较差，挂面需要有高比例的优质纤维。对任一面或两面要求较高的外层，使用单独的成形器，可以克服这个缺点，如图 9-15 所示的布置图。

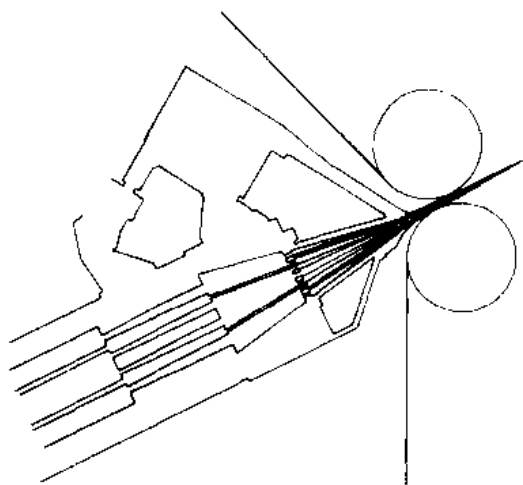


图 19-13 Beloit 公司生产三层纸板的
Converflow Strata-Flow 流浆箱

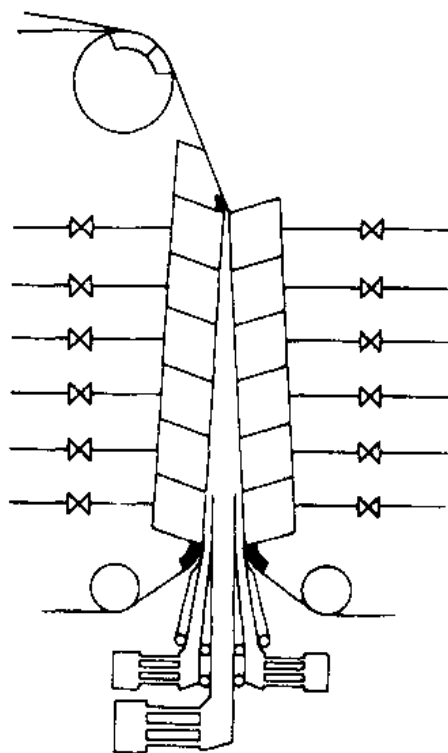


图 19-14 Tampella 公司的带多通道流浆箱的 Contro-flow 型成形器

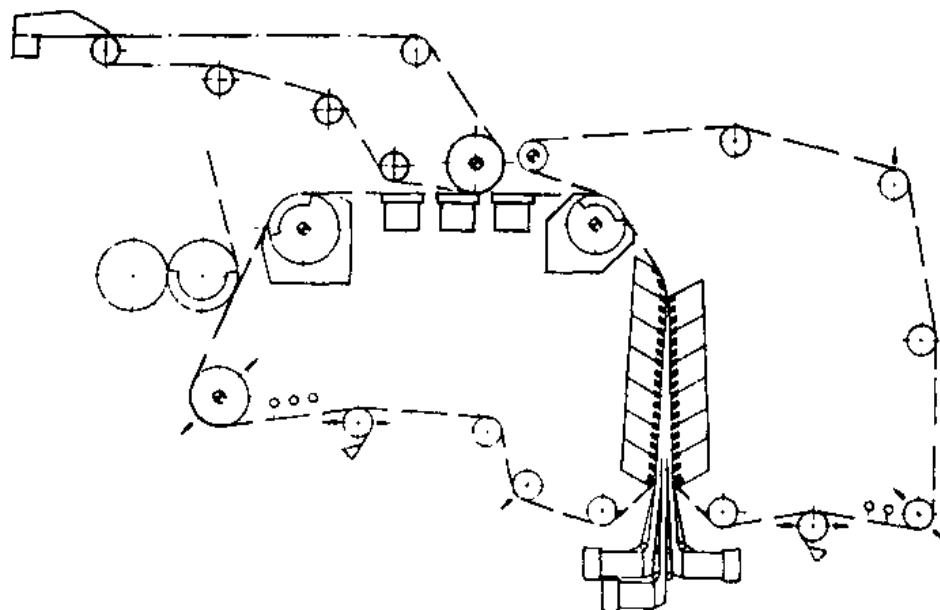


图 19-15 制造 4 层纸板的布置图；3 层 Contro-flow 型成形器再加
一个传统的面层成形装置

19.2 脱水

压榨

对多层纸板（特别是高定量纸板），压榨应该缓慢而温和，以避免层间压溃和脱层，并保护松厚性和层间粘合性。总的要求是作用在纸幅上的抗张应变要最小，以及压榨压区要专门根据该压榨的脱水量而设计。压榨的一般原理在第 16 章中介绍，下面所介绍的将限于传统设计的多层纸板机。

如上所述，从传统圆网成形器、真空成形器或压力成形器来的连续纸幅积存在毛毯（它常与纸机的其余部分逆向运行）的外侧面（即底面）上，然后运载毛毯翻转过来，使纸页停留在其顶面上，送去压榨部。许多纸板的典型布置示于图 19-16。离开每个网笼的纸幅浓度不能高出 15% 很多而又不牺牲层间粘合能力。因此，必须趁湿纸页还由运载毛毯（即下毯）承托着的时候脱去其大量水分。有若干水分是利用每个成形器后位于毛毯上的真空箱脱去的，这也有助于将湿纸页粘附在毛毯上。

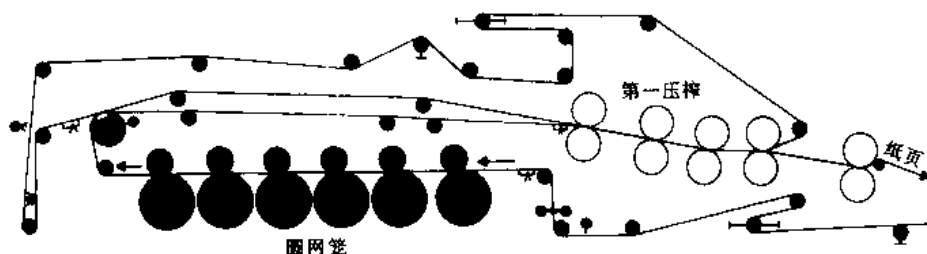


图 19-16 带附属毛毯的圆网成形器典型布置

在完成所有层的引纸后，必须将毛毯翻过来。通用方式是毛毯绕过真空转向辊（剥纸辊），然后绕过双毯真空圆筒形压榨。转向辊的作用好似真空伏辊，可十分有效地脱除水分。真空箱也用于压榨区前的真空圆筒形压榨。由于经过这次初步脱水，一般可在柔软的双毯压区上施加 17.5kN/m 的压力而不会引起压溃现象。虽然传统布置是直至第一压榨都共用一个上毛毯，但现在许多纸板机都为真空圆筒形压榨配备一张单独的毛毯，如图 19-17 所示。

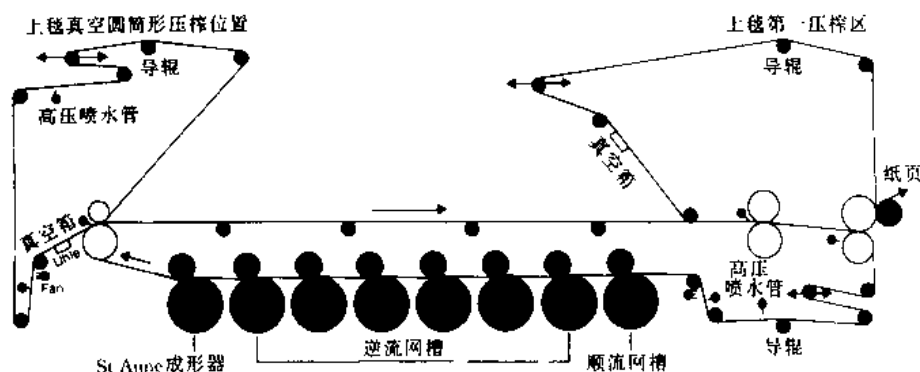


图 19-17 带两张上毯的圆网成形布置图

湿纸页然后被带入第一压榨区，在这里有一系列低线压的普通和真空压区进行脱水并压

实纸幅。一般上毛毯与第一压榨一起使用，而最后一个或两个压榨可单毯运行，使压区稍“硬”一些。最后，湿纸页经过高线压的两个或三个真空压区（即“主压榨”）。纸页转移到第一压榨后面。第二和第三压榨各用自己的毛毯。

在圆网纸机上，下毛毯（或运载毛毯）承担着艰巨的任务。毛毯必须强韧得足以驱动整个湿部，同时，为了更好脱水，必须具有充分的渗透性。此外，与纸页相接触的一面必须有较细致的表面，以便使纸页比较光洁。在毛毯维护上要给予很大注意，这通常包括用化学品清洁和洗涤、用“打水板”喷洗以及真空箱脱水。

干燥

纸张干燥在第 17.1 节介绍。但多层纸板的干燥需要特定的技术，这是因为纸板的厚度以及它的多层复合的配料，对从表面至中心的传热速率以及从中心至表面的蒸汽扩散速率有很大影响。

由于一般都是使用大量的干燥烘缸（有时在 100 个以上），老式纸板机的常见做法是使用叠层布置，叠层高达 12 个烘缸以节省占地面积（图 19-18）。这样的构造不容易排除潮湿空气，而且烘缸又不能套上干毯。因此烘缸的干燥效率很低。像纸机那样的多段双层布置是目前纸板机的标准布置。多数段带有干毯，以便增加干燥速率和最大限度地减少起皱。带有排凝结水和袋通风的新型干燥系统，有可能提高干燥速率和减少烘缸的数量。通过使用大直径蒸汽烘缸（即以 1.8m 直径代替 1.5m）已进一步减少了烘缸的数量。

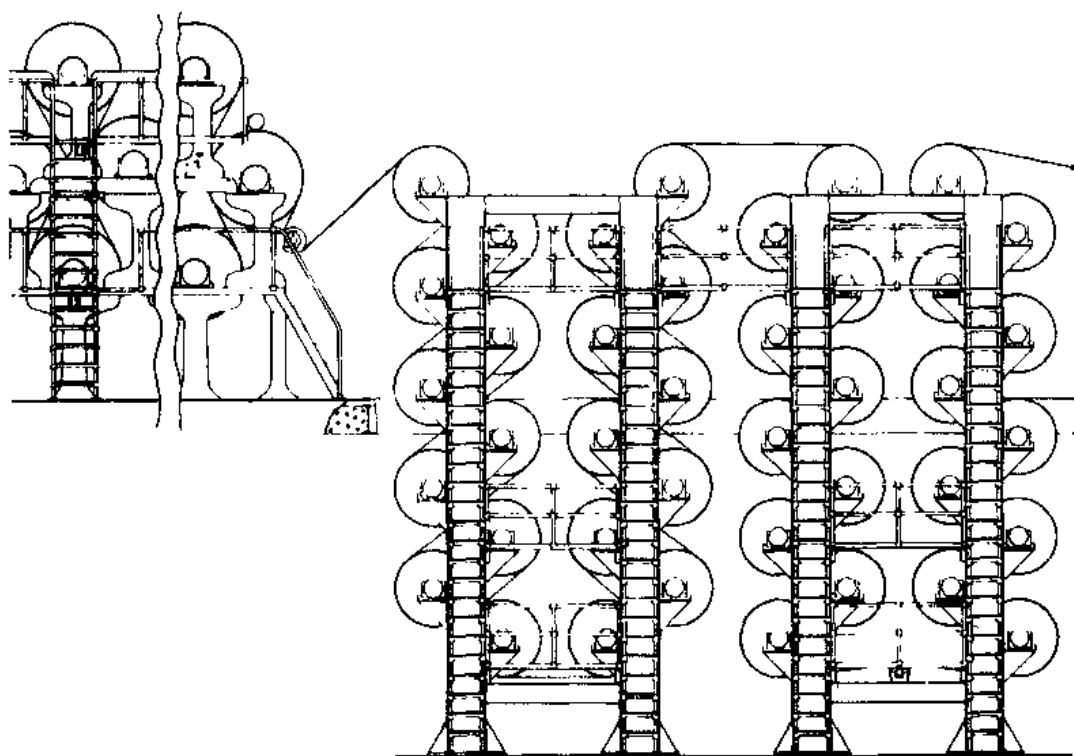


图 19-18 以三层烘缸引入的 40 个烘缸叠层组合

对多层纸板来说，最重要的是在经过头几段烘缸时，温度要逐渐升高，以避免纸页掉毛和起泡。如果蒸汽（指加热时纸板内水分蒸发成的水蒸气）产生的太快，在层间可形成蒸汽

“袋”，造成鼓泡和分层。另一个重要阶段是在水分含量低于20%的干端；如果表面蒸发快于从中心至表面的蒸汽扩散速率，可能造成表面硬化。结果使纸页变形和降低干燥速率。

特别在纸幅的一面与另一面品质不同时，每列烘缸部均应有单独的汽压控制。面层和底层挂面之间的蒸发速率不同，也对整饰纸板的平整度和表面光洁度有负面影响。

19.3 纸板的整饰

形成纸板表面光洁度的两个基本方法是压光机水箱（或称压光机水刮刀 Calender water doctor）与纸机光泽缸（machine-glazing cylinder）。

水刮刀整饰

平整与压实纸页表面的常规办法是利用两台或三台多辊压光机组，总的配置3或4个水箱，水箱内盛装淀粉液或其他适用的溶液用以封固纸页与增加抗掉毛能力。通常纸页在约3%水分时进入压光部而在约6%水分时离开。如果入口水分较高，可能会丧失过多的松厚度。吸收水分的多少取决于纸机车速与纸页施胶度，一般每个刮刀限制在约1%。

纸机光泽缸

纸页在压向高度抛光的扬克烘缸（大直径烘缸）的同时进行部分干燥，是纸板工业中获得纸板单面平滑度和光泽度的一个方法。该法一般保留较高的纸页松厚度，所获得的表面特别适合于以后的涂布作业。为了获得最好的结果，干燥表面必须保持良好的状况，在扬克缸的纸页水分含量必须小心地控制。该法限于疏松的纸板，由于必须让蒸发水分通过纸页结构扩散逸出，定量不超过450g/m²。

由于纸页两面之间的干燥程度不同，可在纸板中形成应变，并在以后的加工作业期间，有可能释放出来，造成卷曲问题。多种浆料的纸页特别敏感，必须小心调节在其他各部的干燥速率加以控制。

19.4 层间强度

多层纸板间的粘合强度对所有纸板来说都很重要，而对盒用纸板来说更是绝对重要。最近几年来，由于改变了成形方法，在保持和改善层间强度上已给予了很大关注。压力成形器的使用实际上已经改变了各层的性质，即提供了横向分布更均一和纵向排列纤维更少的匀称纸幅，但在细小纤维分布上的两面性则更大了。

同时，许多后加工程序要求纸板有更好的性能。例如，凹版印刷法一般使纸页受到高剪切力。为了优化制造和处理技术，很好了解影响层间粘合作用及粘合强度因素是很必要的，特别是在高定量纸板中问题更为突出。所需考虑的两个主要因素是：

- (1) 最初所形成的层间粘合强度。
- (2) 经过纸板机和加工机器后，层间强度的恶化。

层间粘合强度是指当以垂直于多层纸板平面施加张力时，抵抗分层的能力。粘合强度取决于其界面细小纤维和纤维的物理交织状况，以及随后在紧密接触的纤维之间的氢键的形成。

为获得最大的粘合强度必须区别许多情况：

(1) 在界面（即各层的接触面）的细小纤维填补空隙并促进层间表面更紧密的接触。已经表明，当从某一面或两面除去了细小纤维组分时，层间强度值就下降一半。这个发现表明在细小纤维分布上有明显的两面性，对潜在的层间粘合强度将有负面影响。

(2) 在引纸压区处必须存在有游离水，以便改善界面细小纤维和纤维迁移的流动性。虽

然两层都是低浓度是最理想的,但已经表明,如果有一层的浓度低于9%,而另一层浓度高达18%~20%,也就不会明显降低层间粘合强度。

(3) 对压力成形器,额外的精磨与发展纤维强度是必要的,以便获得像逆流网槽那样的层间强度值。

(4) 众所周知,在一定的总厚度,大量薄层组成的纸板可有最佳的层间强度。其原因是在薄层中,纤维在界面的排列方向与主体纤维排列方向相同,且随着纸层变得更薄,层间粘合强度接近于单一层的强度。在实践中以最大层厚为4或5点(每点为0.025mm)作为最大层间粘合强度的设计基础。

(5) 施加在伏辊和压榨上的压区压力愈高,在正常可达限度内的层间强度值也愈高。可惜伏辊上的压区压力,受到所含水分的严重限制。只有最后两个或三个成形器位置上,由于压区负荷分布较宽,可承受较大的负荷。

形成层间强度,可能比保持它更容易些。通过纸板机和加工机器时,对纸板所施加的剪切作用力可破坏层间强度。这里起主要作用的有两个机理:

(1) 压区的压缩作用使压区入口侧的纸板表面层“起球”。如果某个压辊的挂面较软,压缩变形就严重化,特别是如果纸板包绕软挂面辊时。

(2) 随着纸页变得更干燥、更厚或更挺,或当弯曲弧度变得更小时,纸板的弯曲化就愈来愈严重。

纸板机上对层间强度下降影响最大的是压光作业。为了尽量减少与弯曲有关的问题,必须加大辊子规格以使应力保持在允许范围内。例如,现场试验表明,在有7个压力成形器的纸板机上,所生产的纸板,其最大厚度不超过26点时尚可安全地通过中间辊直径为0.3m的压光机。

由于层间剪切力(而不是正常层间粘合)似乎是脱层的最终原因,则现有的标准测试法(垂直破坏力)是否是测试纸板强度的适当方法就值得质疑。目前使用好几个修改的测试方法,即让纸板通过由钢辊和挂胶辊组成的加载压区;在纸板被破坏前所经过的压区数,称为卷剪强度指数(rolling shear strength index)。

19.5 纸板的性能

如上所述,多层纸板往往在工厂制成指定厚度,通常以“点”表示。使用比较松厚(低密度)的配料,以尽量减少纸板重量和降低原料成本,对生产者是比较有利的。因此,主要由旧报纸组成的二次纤维配料,对用作内层来说是很理想的。

在大多数抄纸场合,希望纤维以这样的方法成形,即纤维的轴线平行于纸页平面,并在平面内随机排列。如果这做得很好,纸页将会尽可能地密实,并将有各个方向相等的强度。但当纸页要求比较松厚时,则使很大一部分纤维排列方向垂直于纸页平面是很有好处的。圆网(特别是逆流型)成形比长网形成更多垂直方向的纤维,故具有先天的优点;可惜不少纤维还顺着圆网旋转的方向,一般认为这是不利条件。

也许对绝大多数纸板品种而言,最重要的性能是挺度(即抗弯曲力)。纸板结构内的每一层都

表 19-2 7层纸板各层对挺度的相对贡献

层	贡献率%
面层	38.5
中间层	4.3
中间层	0.3
中间层	0.5
中间层	3.1
中间层	8.3
背层	45.0

对挺度有贡献, 其贡献度跟该层距离纸页中心的平方以及本身抗张挺度成正比。这意味着纸板的总挺度基本上只是外层挺度值的函数。纸板的中心部分则给予松厚度, 并起到垫层的作用, 从而增加面层和底层的贡献。表 19-2 示出一张 7 层纸板的各个层对总挺度相对贡献的典型分配情况。

参 考 文 献

- (1) SUTTON, P. **Dollard Makes More Board for Blooms** *P & P International* (February 1987)
- (2) GRANT, R. **Machine Technology: A Turning Point** *P & P International* (August 1986 Annual Review)

第 20 章 常见纸与纸板品种制造技术

所有抄纸与抄纸板作业都采取通用技术，但由于纤维与非纤维性原材料的不同物理和化学特性，以及制造工艺上的可变性，产品的性能与质量可在很大范围内变化。本章将概括介绍最常见纸与纸板品种的基本生产策略，并讨论实行这些策略所用的若干专门技术。

在北美生产的纸与纸板品种的数目如此之多，以致需要有本百科全书来详细列出每个产品的使用性能和制造方法。在 1992 年出版的 Lockwood-Post 字典，列出了 200 种以上的具体纸张品种。虽然总的品种多得惊人，极少数几个大路货产品占了北美纸和纸板产量的相当大份额。例如，新闻纸几乎占了纸张产量的 1/3，而挂面纸板和瓦楞纸一起占了纸板总产量的一半。考察几个重要产品的制造技术，将进一步理解其他许多产品的生产方法。

即使对现有纸种做一般性描述，也超出了本书的范畴。表 20-1 列出了少数几个最常见的产品，并作了简要介绍。冒着可能过于简单化的风险，我们将这些产品及其他绝大多数纸产品归纳为三大功能组合：

- (1) 通信、信息和文字上的用途。
- (2) 商业（包装）、工业和建筑上的用途。
- (3) 个人的或卫生方面的用途。

下面将讨论这些类别的各个产品。

表 20-1

常见纸种的定义

印刷类

新闻纸——主要由机械木浆所组成的机上压光纸，一般用作印刷报纸

目录纸——基本是低定量新闻纸，但通常含有填料

轮转门版纸——通常归入未涂布新闻纸类的纸张中，经高度压光。可含有填料

书刊纸 (Publication) ——经超级压光和涂布的杂志纸，原料主要由机械木浆组成，但高档书刊纸使用化学木浆

钞票纸、公文纸——高级耐久纸，通常由破布浆制成

字典纸——低定量、高填料纸，由破布浆或化学木浆制成

证券纸、账簿纸——专用信纸和纪录纸所用的高质量纸张，由破布浆或化学木浆制成

卫生用纸——外观良好的较软和较松厚的纸张。配比通常为化学木浆，但最高质量的要用破布浆制成

工业用纸类

纸袋纸——高强度纸张，通常由经过高度精磨的未漂软木硫酸盐浆制成

挂面纸板——低定量纸板，通常用作瓦楞纸板的挂面。也用作包装纸。由高得率未漂硫酸盐浆制成，带有较高质量的印刷用面层

瓦楞芯层——用作瓦楞纸板的波纹状内层。通常由高得率半化学硬木浆制成，厚度为 9 “点” (每 1 点 0.025mm)

小学生画图纸 (construction paper) ——高定量和高松厚度的新闻纸类纸张，一般用作幼儿园剪纸和画图纸

防油纸——高度精磨的亚硫酸盐木浆制成，并在以后的超级压光中润湿并施以重压。光滑的半透明纸专用于防护性包装纸，以及加工成蜡纸

续表

薄型纸

卫生用纸——这类纸包括面巾纸和厕纸、卫生类产品和餐巾纸。主要特点是柔软和吸水。含有高百分比的轻微精磨的化学木浆

电容器纸——由高度精磨的硫酸盐浆制成的低定量 ($5\text{g}/\text{m}^2$) 匀称薄型纸, 用作电容器绝缘。基本上与复写纸和 (经湿强剂处理的) 茶叶袋纸的原纸为同类产品

毛巾纸 (Towelling) ——起皱的吸收性纸张, 通常用轻度精磨硫酸盐浆配加机械木浆制成。快速吸收与容水能力是其主要需求。有时用湿强度树脂处理以防止遇水碎解

包装用薄型纸——它代表用于包装商品的各类薄型纸。总的要求是强韧、良好的匀度和洁净。定量在 $16\sim 28\text{g}/\text{m}^2$ 范围

20.1 新闻纸

按产量来说, 新闻纸是未涂布的“含机木浆”印刷纸家族中最重要的成员, 它还包括目录纸和电话簿纸。所有这类产品的制造方法都相类似。

从最广义上说, 新闻纸可将其定义为, 能够通得过现代高速印刷机并以合理价格生产出合格报纸的任何纸张。新闻纸的功能要求是, 印刷厂的运行性能、印刷性能、良好的普通外观以及低廉的价格 (见表 20-2)。

表 20-2

报纸出版商所要求的新闻纸品质

运行性能——使纸幅通过印刷机而不断头
印刷性能——能够以最少的擦拭 (rub off)、转印 (set-off) 与透印接纳和保存压印油墨的图文
外观 (光学性能)——白度 (brightness)、“白色度 (whiteness)”、洁净度、不透明度

新闻纸的配料主要是由机械木浆和 (或) 脱墨报纸再生浆组成, 一般掺配少量轻度精磨的化学木浆。惟一的助剂是紫—蓝色染料, 用以抵消大多数机械木浆的天然黄色调。有时也可加入少量矿物质填料。

机械木浆给予新闻纸宝贵的与印刷性有关的性能, 诸如吸收性、松厚度、可压缩性、不透明度、匀度 (指定量的微观均一性) 等等。可惜机械木浆的强度性能也许不足以生产出在印刷机上顺利运行的纸张。例如, 当机械木浆只是为磨木浆时, 纸张一般要加上 30% 以下的化学木浆或半化学硫酸盐浆或未漂亚硫酸盐浆作为骨干浆。化学木浆虽然提高新闻纸的强度, 但对印刷性能则有负面影响。

在所有印刷纸品种中, 新闻纸是最接近于商品化的产品。实际上, 在北美出售的所有“标准新闻纸”, 在定量 ($48.8\text{g}/\text{m}^2$)、白度 ($50\sim 60$)、一般品性和交货价格上都是相同的。这并不是指在不同供应商之间, 产品的运行性能、印刷性能与外观都不存在差别。但新闻纸生产商只要其产品能满足最低限度的标准, 一般都会找到市场定位, 特别是在供应紧俏时。

但新闻纸已不再是过去那样“铁板一块”的产品了。在欧洲, 大多数出版商都用 $45\text{g}/\text{m}^2$ 新闻纸印刷报纸⁽¹⁾, 有的为保护森林资源已降到 $40\text{g}/\text{m}^2$ 。与此同时, 某些插入 4 色印刷 [著名的如 USA Today (今日美国)] 的报纸, 还使用高白度、高不透明度的新闻纸 (有时称为 hi-fi 新闻纸), 售价很高。

回用废纸的冲击

新闻纸生产商关注州政府中对使用废纸给予鼓励的动向⁽²⁾。对原纤维新闻纸征税以及对

外购新闻纸规定强制性废纸含量水平,被各州视为减少不断增加的旧报纸(这些旧报纸是通过“路边收集”积累起来的)库存的一项措施(也参见14.1节)。但有时,立法在允许造纸生产商有足够时间去适应方面,显得不切实际。最难做到的是加拿大造纸商(如果不是做不到),他们没有机会接近许多二次纤维供应商。

但工业观察家在预测新闻纸中二次纤维用量在长时间内将显著增加这一点上,意见实际是一致的。在某些比较容易收集和回收旧报纸的地区,废料堆积已到了危险的比例。在技术上已可从100%再生纤维制取高质量新闻纸,而且利用二次纤维也具有经济上的吸引力(特别是,如果旧报纸库存已很高时)。

经济因素

假设纸机在最高适用速度下有效运行,影响新闻纸纸机利润的首要因素就是配比中化学木浆的用量。半漂硫酸盐浆的生产成本几乎两倍于典型的机械木浆组分。在现代高速新闻纸纸机上,减少1%硫酸盐浆(例如从11%减到10%)相当于增加年利润约25万美元。因此,最佳策略是只使用起码的化学木浆以满足最低限度需要,从而降低配浆成本和改进印刷性能⁽³⁾。

因为新闻纸是按平均定量出售,另一个优先考虑的问题是尽可能以最高水分含量生产新闻纸。如果新闻纸以接近9%~10%的最佳水分代替(比如说)6%~7%的水分,大量高速纸机在配浆成本上可实现的典型年节约值为50万美元。用户非常愿意接受较高水分含量的新闻纸,因为这有利于改进运行性能。特别是,在高水分含量时新闻纸伸长率增加,使纸页有可能更好的吸收冲击能量而不致断裂。虽然如此,为了卷出水分均一的纸卷,老新闻纸纸机的生产工往往必须使纸页过干燥,以消除压榨和干燥所造成的水分不均一性(参见17.1节)。水分含量对运行性能的影响示于图20-1。

运行性能

印刷间的运行性能可以认为是所有纸页和纸辊性能的综合,这些性能有问题可使印刷机在比必需产量还低的情况下运行。运行性能不好的特点是纸幅断头或张力松弛导致打褶和对得不齐。运行性能与纸张强度性能之间的关系还不是很明确,但印刷间操作工感到横向撕裂度作用最大。撕裂度取决于所用纸浆的相对数量和质量。

纸张断裂通常由纸页中的纸病(往往在纸边)所造成。一般地说,如果确定了断纸点的位置,就能找出诸如纤维束、腐浆孔洞等纸病。许多印刷间试图编列出每次出事的特定原因并保持累积的记录,如像表20-3所列的例子。不同新闻纸供应商的纸张质量也根据测量纸辊

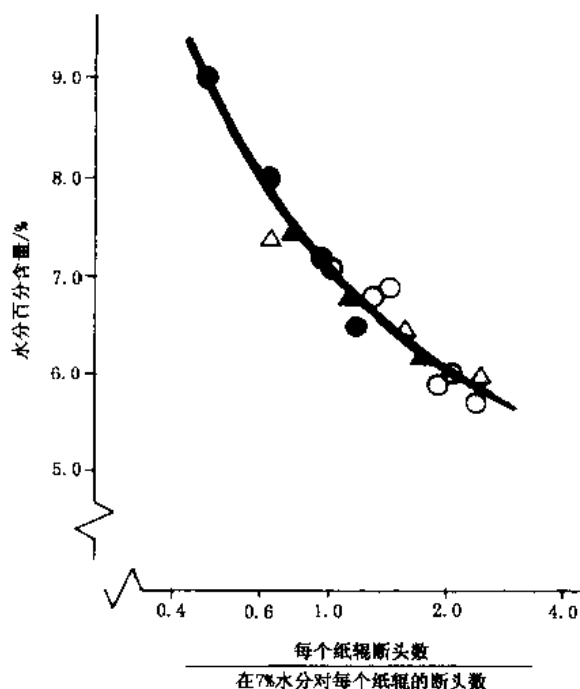


图 20-1 新闻纸水分含量对印刷间相对运行性能的影响
(注:印刷间相对运行性能的数据来自4家ANPA印刷间系统,已加以调整后绘制在一起)

每次断头所示出的相对运行性能，列表进行比较。实际长期运行情况列示于表 20-4，每个供应商均编上代号。

表 20-3 从一家大印刷厂测得的纸幅断头情况							
纸张缺陷（纸病）	A	B	C	D	E	F	总计
纤维碎片	27	62	41	113	97	53	933
压光割口	5	7	5	11	9	4	41
水分褶子	-	8		1	2	4	15
腐浆孔洞	6	14	15	30	9	7	81
纸辊缺陷							
接头不好	7	7	12	22	13	15	76
辊内松纸	12	16	18	27	14	9	96
纸辊不圆	5	10	3	25	29	14	86
胶粘到辊端上	20	10	11	117	39	15	212
纸芯不良	2	14	21	31	21	2	91
总计	84	148	126	377	233	123	1091

表 20-4 在一家大印刷厂三年的新闻纸运行纪录			
供应商	纸辊运行数	断头数	运行纸辊数/断头数
A	8001	147	54
B	55763	1224	46
C	61693	1634	37
D	17987	531	34
E	19310	668	29
F	33247	1605	21
G	21406	1200	18
H	10522	656	16

实际上多数断头往往是由于统计学因素的累积，如图 20-2 所示。尽管纸张和纸辊的缺陷总是存在，但必须是包涵缺陷能力不足和（或）纸页高张力相结合，才会发生断头。如果印刷机操作工事先知道纸辊中的薄弱环节，就可容易地利用减低速度和张力让它顺利通过。但新闻纸断头是非常稀少和异常事件，每 500km 纸幅平均只断一次左右。在瑞典对一家印刷厂的长期研究，发现测量所得的纸张强度，总比断头时记录到的纸幅张力至少高出 5 倍。

对印刷间断头的一项十分简单的考察，列示于图 20-3。当一卷新闻纸在印刷机上运行时，纸页中的缺陷经过某个基准点，同时正好发生纸页张力波动。只要不存在缺陷，纸张就能够正常地承受最高的张力，即使在平均张力时也不会使有缺陷的纸页断头。只有当缺陷与张力波动重叠时才发生断头。

另一项对新闻纸断头的考察，在图 20-4 中以诊断树的形式表示⁽⁴⁾。根据该图，缺陷只是

当伴随有高纸页张力时低纸页强度或应力集中等好几个能促使断头的原因之一。

印刷性能

印刷性能是在正常条件下所测得的印刷质量,它取决于所用印刷方法和纸张品质(如平滑度、吸收性、水分含量、匀度、不透明度和白度)。但印刷性能的概念相当复杂,必须考虑不同情况。

印刷浓度(print density)(可印刷性的一项测量)是已印刷面和未印刷面之间的光学对比度。对新闻纸而言,该对比度通常自固态印刷(solid print)测得,并与纸张白度有关。通过增加印刷板上的油墨量可以提高印刷浓度。

印刷的不希望有的效应是可透过纸张背而看到,称之为透印。该因素与纸张的不透明度和结构多孔性有关。可惜的是,多施加油墨改善印刷浓度也将产生增加透印的负面效应(在极端情况下,油墨可以转移到背面,形成所谓“透印”)。施加太多油墨也对增加“转印(set-off)”和“擦去(rub-off)”有影响。发生转印的原因是,当仍然“潮湿”的油墨被抹掉,印在下道印刷装置的背鼓上,然后将此印痕转印到下页纸上。“擦去”是指油墨蹭到读者的手上。这些现象与所用的

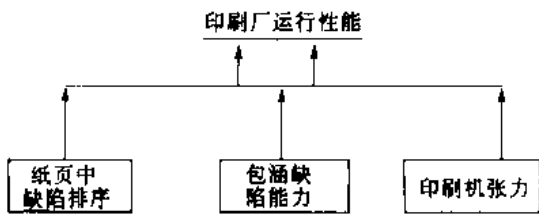


图 20-2 影响印刷厂运行性能的因素

纸页中缺陷排序: 1. 木条; 2. 纤维块; 3. 腐浆;

1. 接头不好; 5. 松纸; 6. 胶粘到辊端上;

7. 碎片; 8. 纵切裂口

包涵缺陷能力: 1. 化木浆(%); 2. 水分(%);

3. 单位能耗; 4. 耐破度;

5. 裂断长; 6. 匀度;

7. 抗张强度与伸长率; 8. 定量波动

印刷机张力: 1. 卷纸的均匀度; 2. 卷纸张力;

3. 递纸故障; 4. 纸芯状况;

5. 印刷机加速; 6. 换纸辊; 7. 连续粘接

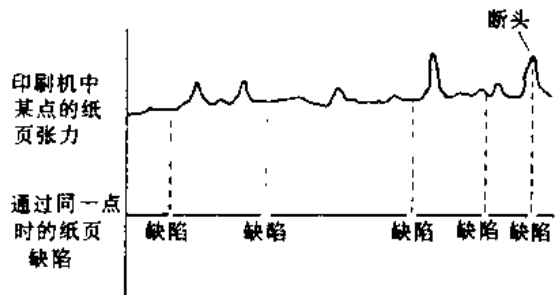


图 20-3 当缺陷与张力波动相叠合时新闻纸发生断头

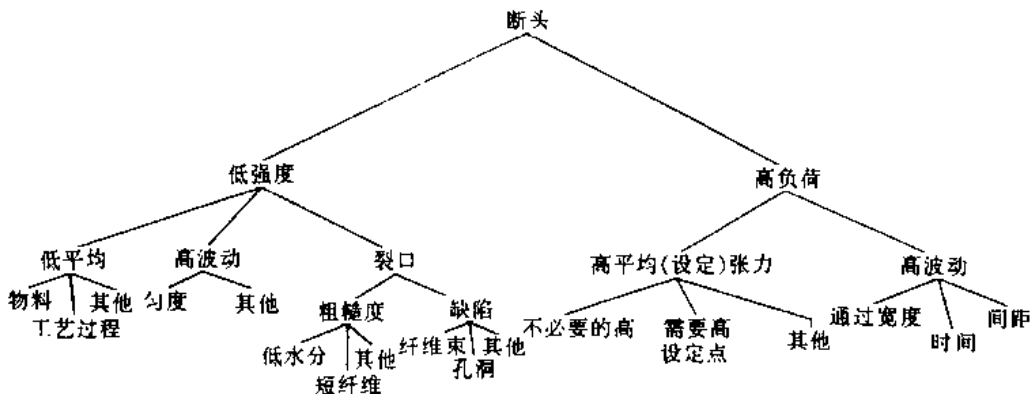


图 20-4 影响纸幅断头因素的诊断树

印刷方式有关,并由油墨渗入纸张太慢或不适当的干燥所引起。纸页的最佳微孔大小分布,通常允许施加适度的油墨而不过分地“转印”或“擦去”。

20.2 书刊纸

书刊纸类由高质量含机木浆印刷纸组成,包括未涂布超级压光(SC)纸、机上压光颜料涂布纸(MFP)和低、中定量涂布纸(LWC&MWC)。

MFP 纸是在欧洲新开发的,其特征是在施胶压榨上施加少量颜料涂布⁽⁵⁾。10 年前,对 SC 与 LWC 纸种之间许多用途方向的选择是很严格的。然而 SC 与 LWC 之间的高价差,使许多出版商只有当他们确实需要较高质量时才使用 SC 纸。MFP 纸的发展填补了 SC 与 LWC 纸之间的质量空缺。

涂布书刊纸常可分成 1 号至 5 号,定义见表 20-5。1 号纸代表最高质量,而 5 号纸代表最低质量。正常定量范围是 $47\sim 103\text{g}/\text{m}^2$ 。涂料量可变化,但对最低定量纸种,其两面涂料为总纸定量的 $20\%\sim 30\%$ 。因而,涂布原纸的定量可低至 $33\text{g}/\text{m}^2$ 。杂志纸大约消耗了涂布纸产量的 40% 左右。由于邮递费用增加,许多书刊纸转而使用较低定量的纸张,特别是 4 号和 5 号纸(它们占了涂布杂志纸的 94%)。

因为应对较低定量纸的需要,造纸工作者面临在减少总定量的同时,维持同样运行性能与表面质量水平的任务。在定量低于 $58\text{g}/\text{m}^2$ 时,通常需要从原纸和涂料两方面而来减少定量。原纸需要有较高百分比的化学木浆来保持其运行性能。在提高纸页强度方面的另一项措施是使用湿部助剂(诸如淀粉、树脂和湿强剂)。在较低定量的 4 号纸中正使用 TMP 取代磨石磨木浆。

表 20-5 涂布书刊纸的特性

一般特性	典型用途	原纸	涂料	白度 (ISO)
1 号。上釉、双面涂、较贵的原纸和涂料; 高光泽度;定量高于 $260\text{g}/\text{m}^2$	年度报告书	高白度化学木浆高填料 含量	高 TiO_2 高光泽 上釉合成物	82~88
2 号。双面涂、较贵的原纸和涂料	费重的广告	高白度化学木浆加填料 (白土)	高 TiO_2 、 若干白土 合成物	78~82
3 号。单面或双面涂,较低质量的原纸	广告	化学木浆、少量磨石磨 木浆	主要是白土 若干 TiO_2 价格低	76~82
4 号。较低价格,较低白度	杂志	磨石磨木浆和化学木浆 若干白土填料	价格低 涂料—白 与 TiO_2	72~78
5 号。较低定量、高磨石磨木浆含量	电话簿、 目录、 杂志	主要为磨石磨木浆或 TMP,加化学木浆是为 了抄造性能	变化不定 有些含合成物	68~72

目前的预测继续表明,由于杂志广告的增加、生活标准的提高、空闲时间的增多以及文化水平的提高,LWC 类纸张市场将比造纸工业的其他方面扩展得更快。虽然前景乐观,这方面的持续挑战是实现涂布纸更大程度地渗入未涂布纸市场。

20.3 纸袋纸 (sack grades)

为了确定用于制造纸袋的纸张的要求,在北美和欧洲进行了许多研究,以便发现纸袋是如何破损的。结果表明,抗张能量吸收值 (TEA) 是一个装满东西的纸袋竖着摔下来 (冲击下摔) 时最重要的参数。为抵抗平摔, TEA 和撕裂强度都应是最高。如纸袋由好几层纸制成 (多层), 为了各层间均匀分布作用力, 必须有高伸长率值。

TEA 是为在张力下破坏一个试样所需的功, 并等于应力/应变 (负荷/伸长) 曲线下的面积。它基本与破裂时产品的抗张强度和伸长率值成正比。

为了满足强度要求, 纸袋纸通常用经过充分精磨的未漂软木硫酸盐浆制成。一般在配料中加入松香胶和 (或) 淀粉以增加其内结合强度。湿强剂亦可用于某些纸种。良好的纸页匀度对强度均一性是必不可少的, 一般使用约 0.2%~0.3% 的低流浆箱浓度, 因此, 网案必须设计成能处理高滤水体积。

增加纸袋纸 TEA 的最佳方法是增加破裂时的伸长率。因为一部分纵向纸页的可伸长度 (伸长率) 可在纸机湿部开放引纸时丧失掉, 一般采取的措施是利用真空从网上吸移纸页, 并将首次开放引纸推后到第二、三压榨之间。

如果允许纸张无制约地干燥, 伸长率可能获得明显增加。因为纸张会随着干燥而收缩, 纸页在自由或轻微张力下收缩, 将会比在不让收缩的高张力下保留更多的伸长率。虽然已作了若干努力以减少在传统烘缸干燥系统上的张力 (例如取消干毯), 所能得到的自由收缩范围仍相当有限。另一方面, 通过使用空气冲击干燥差不多已获得了自由收缩⁽⁶⁾。尽管有各种不同设计, 图 20-5 示出常用于纸浆干燥的同类设备的应用情况 (见第 9.9 节)。空气干燥一般是在 50%~85% 干度范围内使用, 主要的收缩作用在此时发生。图 20-6 比较了蒸汽烘缸与空气冲击干燥纸张的负荷/伸长率曲线图, 说明使用空气干燥系统可获得较大的伸长率。

利用起皱工艺也有可能形成额外的伸长率 (见第 20.7 节), 但这种处理会使纸面发生明显变化, 这是其不利之点。对伸长率有同样效应但纸面并不改变的办法是利用一个压紧装置, 如图 20-7 所示。在这里, 纸页进入由单独驱动硬钢辊与软胶辊组成的压区。硬辊回转的圆周速度与入口纸幅速度一致, 而软辊则以较慢速度驱动。橡胶在压区的前方被拉长, 纸张粘附到橡胶并被强制与橡胶一起收缩。压紧装置位于干燥部中间, 后干燥部的速度与软辊速度一致。调节两个辊的速差可在很大范围内改变强制收缩量。

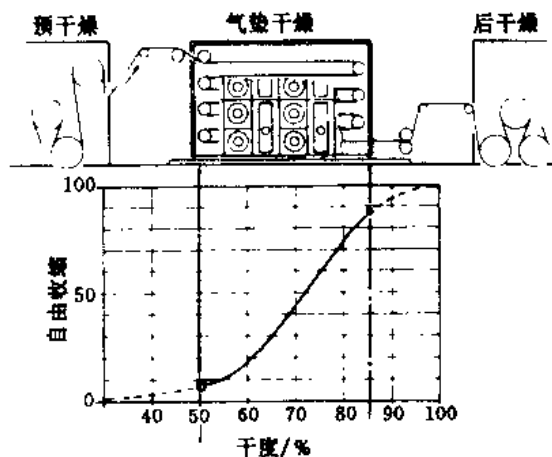


图 20-5 在主收缩段利用空气冲击干燥 (Flakt 公司)

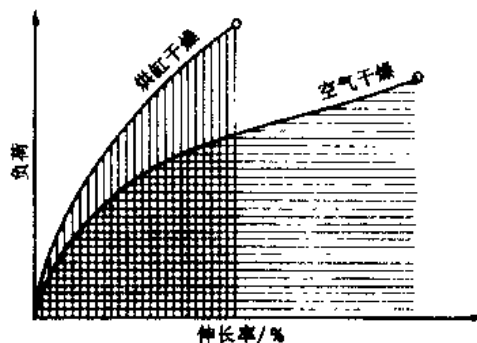


图 20-6 纸张伸长率与 TEA 与干燥方法的关系 (Flakt 公司)

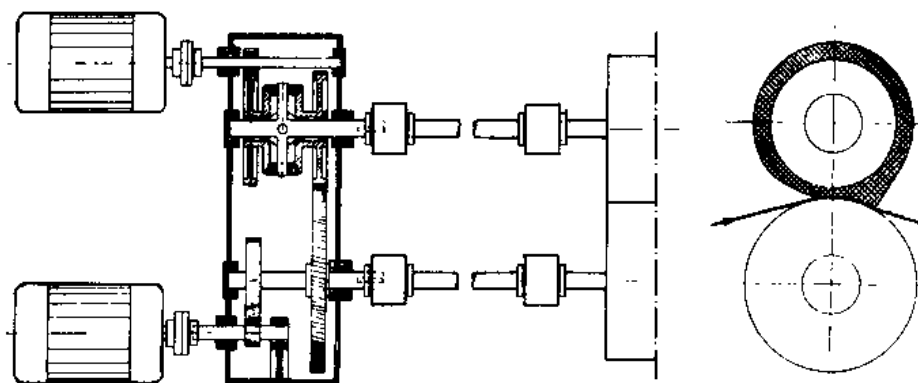


图 20-7 显示减速箱与辊子的压紧装置简图 (Clupak 公司)

虽然自 20 世纪 70 年代以来，由于塑料袋的竞争，纸袋纸的销路不断下降，但有迹象表明，这个势头已得到遏制。出于处置塑料袋在环境方面的担心，在 20 世纪 90 年代有望从对牛皮纸杂物袋的需求方面获益。

20.4 挂面纸板

挂面纸板是定量相对较低的纸板，常用做瓦楞箱纸板的外层和用作包装纸。标准挂面层是 205 g/m^2 (42 lb/1000ft^2)，但做其他用途的品种，定量范围为 $112 \sim 439 \text{ g/m}^2$ 。挂面纸板的市場很大，在北美，其总产量超出新闻纸很多。

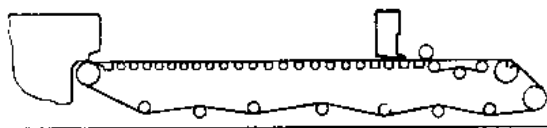


图 20-8 双挂面纸板机简图

最常见的产品双挂面纸板，传统上是用高得率硫酸盐浆在带两个流浆箱的长网机上抄制而成的，如图 20-8 所示。新型水力式第二流浆箱示于图 20-9。近来工业上已开始改造现有长网机，即用面上型成形器 (on-top former) 或第二长网成形器取代第二流浆箱，估计到 1992 年，北美已有 20% 左右的纸板机作了改造 (该内容写于 1991 年——译注)。同样，几乎有一半北美挂面纸板机已在最近装了高强压榨，这种压榨提供更高的纸页强度，并减轻干燥部的蒸发负荷。许多纸厂目前在底层配料中利用 25% 以下的 OCC (旧瓦楞箱) 废纸。

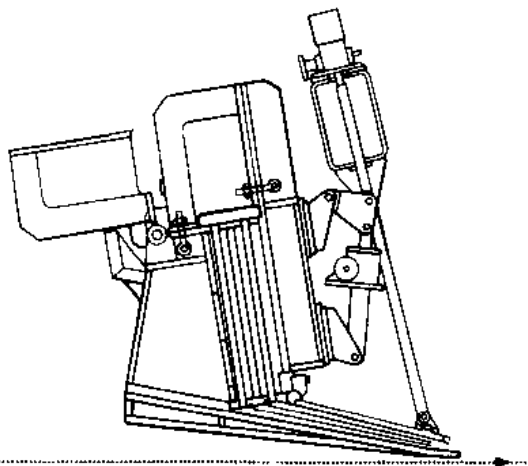


图 20-9 第二水力式流浆箱 (Beloit 公司)

相对较暗和较粗的高得率硫酸盐浆底层，最先在长网上成形。较白、较洁净、质量较好的一层浆 (面层) 是在底层浆上面成形，以便提供良好的印刷表面和较好的外观。从第二流浆箱 (位于网案真空箱位置的上面) 或面上型成形器来的足够厚的面层浆完全掩盖住底层的湿纸页 (一般为湿纸页定量的 20%~30%)。

挂面纸板的主要要求是挺度和耐破度，以及在单面有良好的外观和印刷性能。通过在底

层使用高得率硫酸盐浆和在面层使用充分精磨的较低得率的未漂硫酸盐浆，可以很好地满足这些要求。在特定情况下，有些厂可能使用漂白硫酸盐浆作为面层以便给予较干净较白的外观。在湿部常用内施淀粉以协助满足挺度指标，面层通常在压光机进行轻度施胶。

挂面纸板的制浆系统

挂面纸板最常见的制浆系统是分别利用两条完整的底层与面层浆的硫酸盐浆生产线，如图 20-10 的流程图所示。蒸煮到得率为 55%~60% 的底层浆，在喷放锅外疏解和精磨（热浆

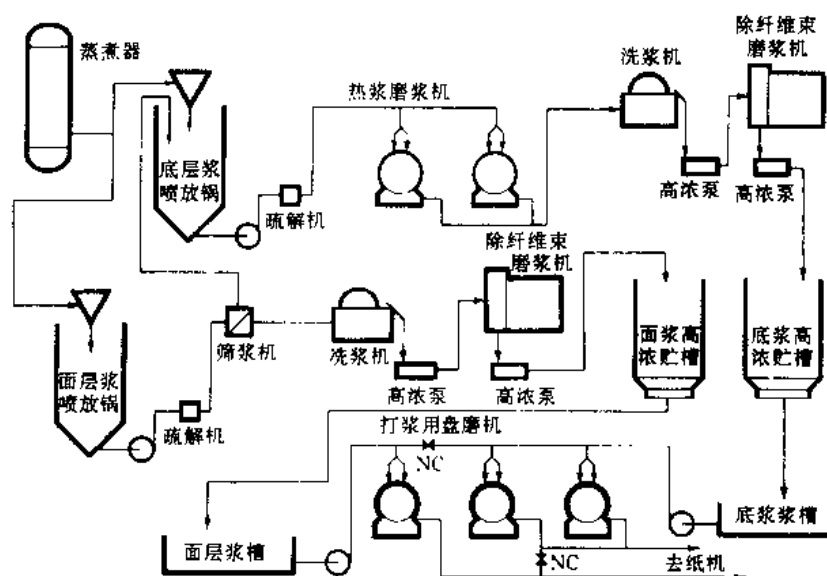


图 20-10 硫酸盐浆厂底层与面层双蒸煮生产线流程，两个系统中均有除纤维束磨浆机与疏解机。热浆精磨只用于底浆

精磨)、洗涤、并在送去纸机贮浆槽前进行补充精磨（称为“除纤维束精磨”）。蒸煮到得率为 48%~50% 的面层浆，在有热废液的情况下疏解和筛选，并洗浆；筛渣一般移到底层浆生产线，以保证面层浆特殊的洁净度。优化热浆精磨和除纤维束精磨的操作条件⁽⁷⁾已有深入研究。

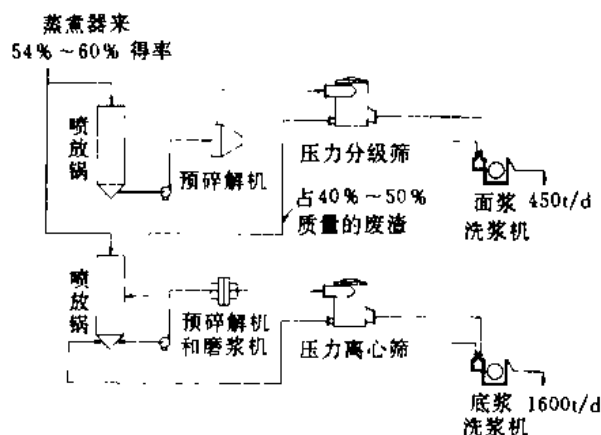


图 20-11 带有分级工序以分离挂面纸板面层和底层浆的硫酸盐厂流程图

另一方案是使用单一制浆线,对磨后浆使用特殊的分级筛浆系统⁽⁸⁾。将洁净的短纤维部分提取出来用作面层浆。典型系统示于图 20-11。这项措施简化了制浆系统,显著节省了投资。但它似乎必须略为牺牲得率,以确保为面层分离出适宜的纸浆组分来。

面层和底层浆在用于纸板机上以前,都要进行补充精磨。充分精磨对面层浆确保良好的匀度、平滑的印刷表面以及很好覆盖住相对较脏的底层,是特别重要的。

20.5 瓦楞芯层

瓦楞芯层(一般称瓦楞纸^{译注})是低定量纸板,用做瓦楞箱纸板的波纹内层。标准的 9“点”定量的芯层($127\text{g}/\text{m}^2$)占了 80%以上的产量,而其他品种的定量范围为 $88\sim 176\text{g}/\text{m}^2$ 。典型的芯层由 65%混合硬木半化学浆(用碳酸钠或绿液蒸煮的中性亚硫酸盐浆)与 35%OCC 所组成⁽⁹⁾。有些瓦楞芯层由 100%OCC 所制成(商业上称“仿瓦楞芯层”)。

波纹层大增加了瓦楞箱结构的挺度。因此对瓦楞芯层的主要要求是挺度和抗压溃性能(图 20-12)。诸如抗张强度、耐破度和撕裂度等机械强度性能,除了某些特殊情况外,不是很重要的。在多数情况下,纸页整饰和外观也不甚重要。通常,半化学硬木浆因其高挺度和抗压溃性能,对瓦楞芯层是最理想的,虽然这类浆的多数常用强度指标都明显较低。

在瓦楞芯层上特别需考虑的是其运行性能。通常,该术语是指纸张在抄造和加工作业以及在印刷机上印刷时,顺利通过而不断头的能力;但对瓦楞芯层而言,运行性能还特指纸页承受起楞作业时的应力与应变而不产生波纹裂口的能力。影响起楞运行性能的两个因素是高伸长率 and 没有大碎片或纤维束。此外在干燥过程中尽可能减少限制对增加纸页伸长率很重要,而充分的浆料精磨则对最大限度地减少纤维束含量是必需的。

制造瓦楞芯层的纸厂,工业标准相对比较简单。利用绿液制浆的典型工艺示于图 20-13。制浆和抄纸都使用标准化的普通设备和生产程序以生产出商品瓦楞芯层。

20.6 高级纸(fine paper)

高级纸类是指配比中机械木浆含量不超过 25%的未涂布印刷书写纸。许多纸的配浆中不含或限含 10%以下机械木浆。具体品种有胶版纸、便笺纸、信封纸、证券纸、账簿纸、油印纸、复印纸和各种书籍纸。

因为多数高级纸纸机所生产的品种和定量范围很广,生产灵活性是纸机设计中的重要因素。流浆箱、成形部,特别是压榨部,必须要能够以不同配比和频繁改变品种后,在车速 $300\sim 1000\text{m}/\text{min}$ 下有效地运行。妥善地计划好所生产的品种,使对生产连续性的影响减至最低是很重要的。例如,同一配比的不同品种要按次序生产。最洁净最白的品种在纸机清洗后生

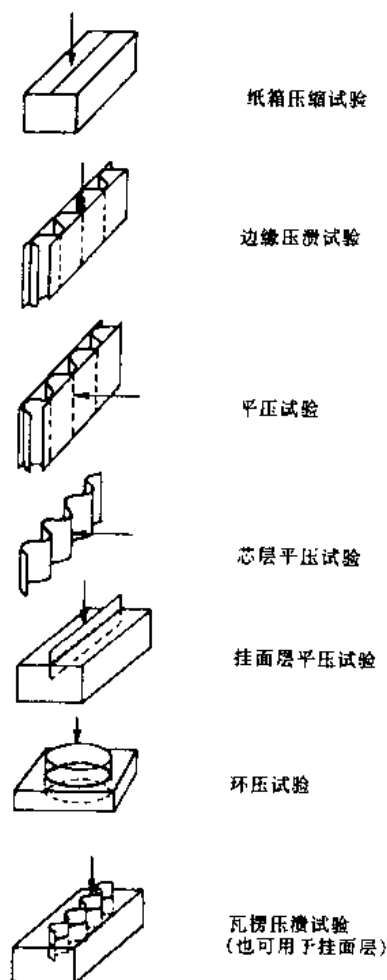


图 20-12 常用于瓦楞芯层与挂面纸板的各种压溃试验

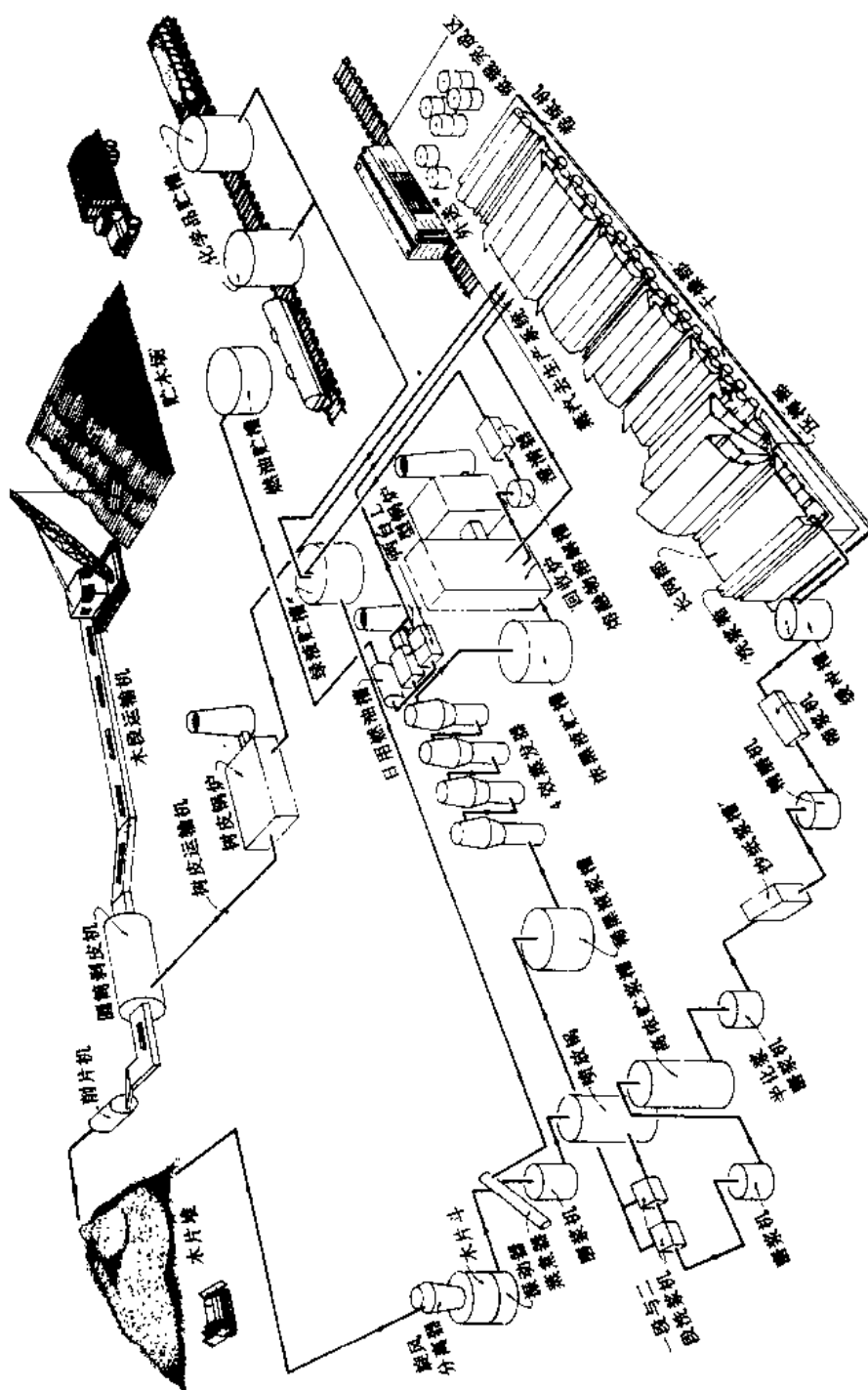


图 20-13 利用绿液制浆的生产瓦楞芯层纸厂的布置图 (Virginia Fibre 公司)

产,而较低质量的品种则在正好计划停机前生产。一般借助计算机编制生产计划,以保证最有效地利用作业时间。常用过程控制计算机实行生产更换,并尽量减少“过渡纸”的吨数。

对高级纸品种而言,强度通常不是一个制约因素,而良好的纸页匀度以及充填良好的(well-filled)纸面则是必需有的属性。因此,以亚硫酸盐、硬木和锯末化学浆作为抄纸配浆要比长纤维软木硫酸盐浆还要好。在完全依赖软木硫酸盐浆供应的纸厂,通常为了改善纸页匀度,必需以精磨纸浆形式切短纤维。在某些高级纸品种中多掺高质量机械木浆也获得了纸浆生产者和造纸工作者的支持,但对高级纸的构成而言,工业上仍以很严格规定对此做了限制。许多纸厂已掺加了回用的印刷和书写纸(主要是消费者废纸),尽管也有某些厂使用10%~20%脱墨后的消费者废纸。

当使用硬木浆和亚硫酸盐浆时,其配浆一般只进行轻、中度精磨。大约加入10%~15%填料,而且除表面施胶外,还在纸内施加淀粉。现在大致已有50%~60%的高级纸厂在湿部改换成碱性抄纸。也常使用水印辊以改进纸页匀度、施加图文效应或产生水印。

20.7 薄型纸类 (tissue grades)

薄型纸名称包括各种类型的低定量纸页。卫生类产品由面巾纸与浴室薄型纸以及餐巾纸等组成。工业类薄型纸包括电容器纸、复写原纸和包装纸。定量最低为 $5\text{g}/\text{m}^2$ 。

由于某些产品的定量非常低,而且结构又疏松,薄型纸不能在常规纸机上生产。薄型纸纸机有各种不同设计,但传统装置是使用长网成形部加上扬克烘缸,如图20-14所示。所有薄型纸纸机的重要特征是,湿纸页在整个成形、压榨和干燥过程中都是承托的,直至其干燥完成都不施加张力。

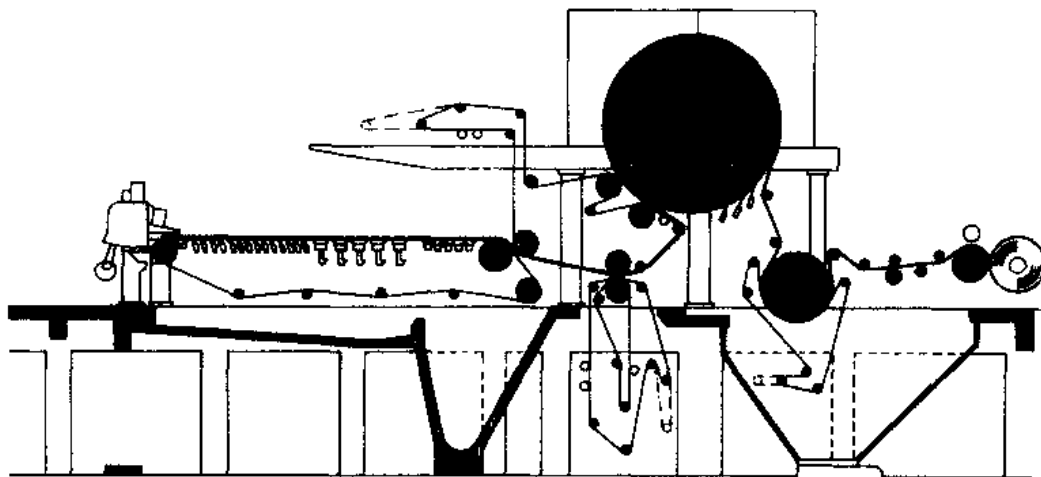


图 20-14 配备后烘缸与单压区压光机的薄型纸长网纸机

对较低定量的薄型纸,有时用引纸毛毯(lick-up felt)从成形部将纸页传递到压榨部(代替真空吸移辊)。引纸行毯相对地不透气且为湿式运行。毛毯“紧贴”网子,纸页优先地粘附到毛毯上。

扬克烘缸是一个大直径蒸汽烘缸,作主要的干燥装置。湿纸页紧压在高度抛光的烘缸表面,并转移到烘缸面。扬克缸被气罩封闭,且可使用高速空气冲击以增加其干燥能力。有些烘缸可提供纸页单面上光;如果这样,烘缸也可称M.G(machine-glazed)烘缸(M.G烘缸

也可用于纸板上光和作铸涂之用)。

纸页在卷纸以前可用或不用压光, 取决于纸张品种。有些纸机甚至不配压光机辊。某些品种是在机外用超级压光机进行压光。

起皱

许多薄型纸在离开扬克缸时都起皱增加松厚度和伸长率性能。粘附在烘缸上的纸页, 碰到起皱刮刀的方形边缘时发生起皱作用, 如图 20-15 所示。一般说, 起皱效应随着接触角的增加而增加⁽¹⁰⁾。

起皱纸页的质量好坏, 部分地与纸页的粘附(分离)性能成函数关系, 它主要取决于烘缸面上的覆盖层。一般这种覆盖层是由残余的可溶性有机物和无机物所组成, 它们是在水分汽化成水蒸气时沉积在烘缸表面上的。但现在认为, 可控覆盖层会改善纸页质量和减少刮刀更换频率⁽¹¹⁾。也可通过在湿部加助剂或直接将助剂喷洒到烘缸表面以形成覆盖层。

现代薄型纸成形器

高速薄型纸纸机的新型双网成形器是夹网辊筒成形器, 其排水区有 C 形或 S 形两种结构。因此它们常称为 C 成形器或 S 成形器。

图 20-16 显示出 C 成形器的一个例子。根据设计, 成形辊可以是实心的, 单面脱水, 或者也可内含真空箱, 允许双面脱水。一台完整的配有 S 成形器的薄型纸纸机示于图 20 17。

在使用含二次纤维的配料时, 要考虑粘性物(stickies)堵网的可能性。根据系统的几何形状, 杂物可优先积聚在内网(传送网)或外网(背网)上。在传送网上的粘着物不会造成

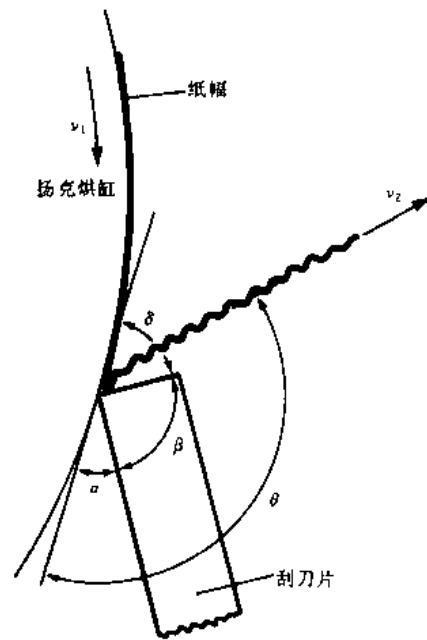


图 20-15 起皱刮刀片几何形状

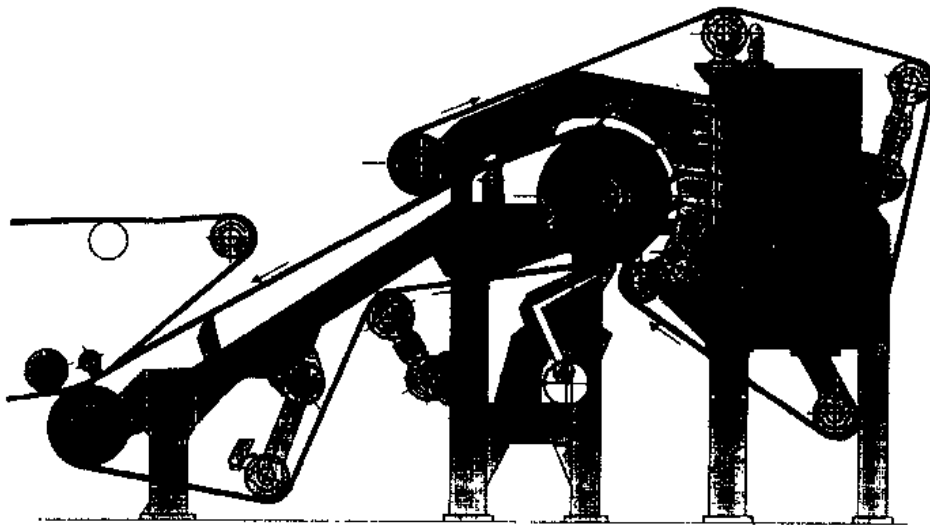


图 20-16 带 C 形结构的双网薄型纸成形器 (Sano 铁工场)

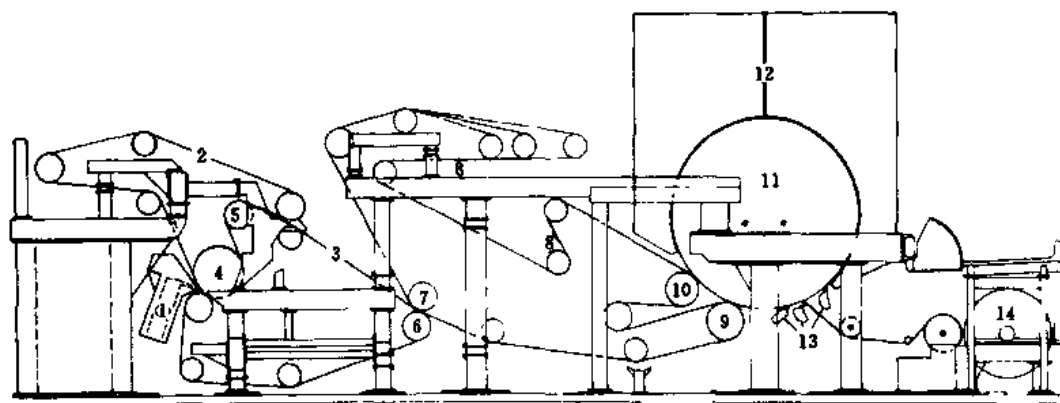


图 20-17 利用双网 S 成形器的新型薄型纸机布置图 (KMW)

- 1—流浆箱 2 Peri 成形器内网 3 Peri 成形器外网 4 成形辊 5—胸辊
6—伏辊 (传动) 7—真空引纸辊 8 毛毯洗涤器 9—真空压榨辊 10—盲孔压榨辊
11—扬克烘缸 12 扬克汽罩 13—刮刀、断纸、起皱、洁净 14—卷纸机

许多针眼,因为脱水主要是通过背网进行的。当使用真空成形辊时可对沉积的杂物施加某种控制。许多薄型纸机现在配有分层流浆箱,它将二次纤维放置在中间层,在纸页内部中间层更好包容污染物。

第一台商业化薄型纸夹网成形器,是20世纪60年代由Kimbley-Clark研制成的新月型成形器(Crescent former)。其设计(示于图20-18)不是传统的C形结构,因为纸页是在毛毯与网子之间而不是在两张网子之间成形。新型流浆箱和网毯设计已经增加了原有的生产能力,这种成形器受到了持续的欢迎。

低密度成形

造纸工业一个最有利可图和最具有竞争性的领域,是“软性”薄型纸市场。消费者在这里为松厚度和柔软性付出了代价,生产者发现自己处于有可能为实际纤维重量偏低的产品收取高价的有利地位。对发展有竞争力的低密度纸专利制造技术天然地有很大激励;那些从事生产软性薄型纸的公司对公布他们的技术方法是很不情愿的。尽管如此,从技术与专利文献上可得到不少有关资料。

手感柔软度与挺度、松厚度、纤维质量和表面质地有关。新型低密度成形后面的基本策略是避免在抄纸过程中的压实作用。疏松纸页是用气体学方式(抽风和鼓风)脱去水分的,它进入干燥部的干度约为25%,而与之相比较,经过机械压榨的纸页干度为40%。因为取消了压榨和纸页固结,氢键大为减少。为弥补起见,典型的低密度薄型纸配料是由高质量、轻度精磨的长纤维浆加上内部增强助剂所组成。

如上所述,可注意到,与传统的薄型纸比较,干燥1kg纤维的蒸发负荷大约要增加一倍

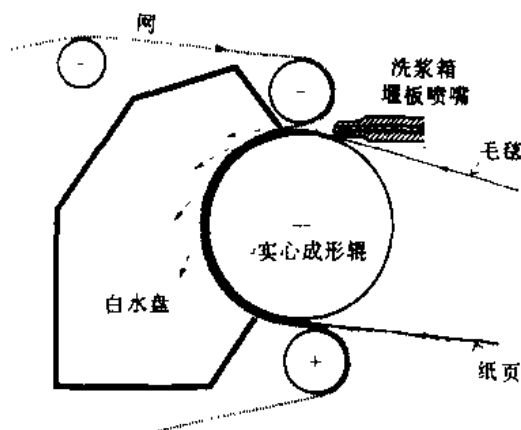


图 20-18 新月形成形器

(3.0kg 对 1.5kg)。而由于低密度技术, 每单位产品的纤维重量的减少高达 30%, 单位产品的干燥费用实际不是加倍。额外的干燥费用实际上大部分为原料的节约所抵消。

在传统的薄型纸制造中, 湿纸页压向扬克蒸汽烘缸的力约为 300lbf/in (52.5kN/m), 这样的压实作用使纸页与烘缸面紧密接触, 并促进良好的传热作用。但对软性薄型纸而言, 考虑到扬克烘缸干燥的高热负荷以及由于不可能再与纸页紧密接触, 就不是很理想。现在更为可靠的是用通过式干燥器 (through-dryer) 保护松厚度并获得更高的干燥速率。

通过式干燥的方法示于图 20-19 和图 20-

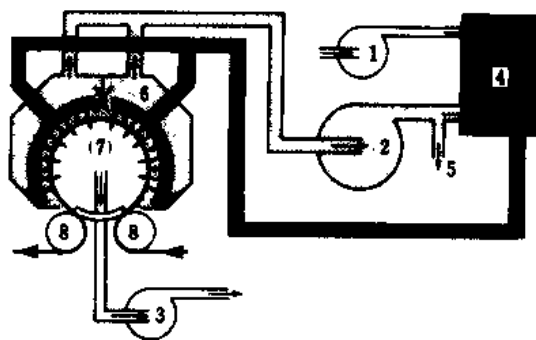


图 20-19 通过式干燥系统简图 (Papridryer)

1-补充燃烧用空气 2-循环风机 3-抽风机
4-燃烧室 5-排气 6-高速气罩 7-真空圆筒体
8-导纸辊

注: 阴影线密度表示空气温度

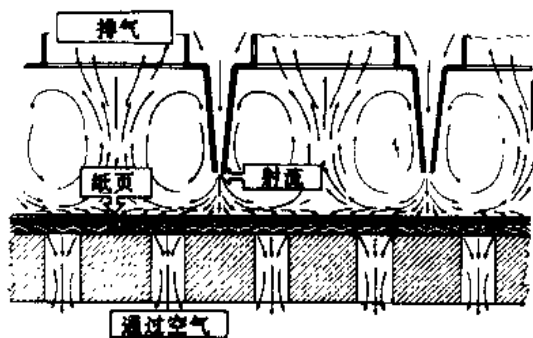


图 20-20 一小段通过式干燥器的图解 (Papridryer)

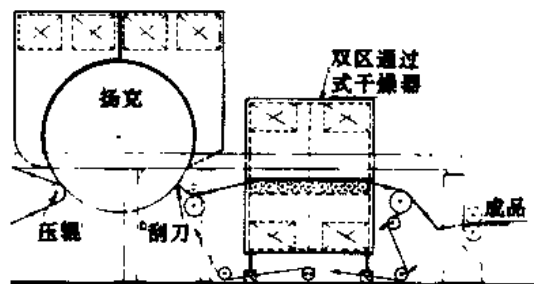


图 20-21 在扬克湿起皱之后配置通过式干燥器 (AER 公司)

20。主要是借作用于疏松材料 (例如薄型纸纸幅) 两面的压差, 使不饱和热气体穿过湿的疏松材料。随着热气体的穿过, 将热量传递以蒸发水分, 气体在降温和增加水汽含量后离去。热空气与纸幅之间的紧密接触, 伴随着疏松材料很大的内表面积, 形成了特别高的干燥速率。

在纸页仍然湿的时候在扬克缸上进行起皱 (图 20-21), 有可能使起皱更为有效 (更少降低强度)。有些技术将扬克缸都一起取消掉, 起皱在较小的“起皱辊”上进行。另一种将通过式干燥器置于扬克缸之前的布置示于图 20-22。

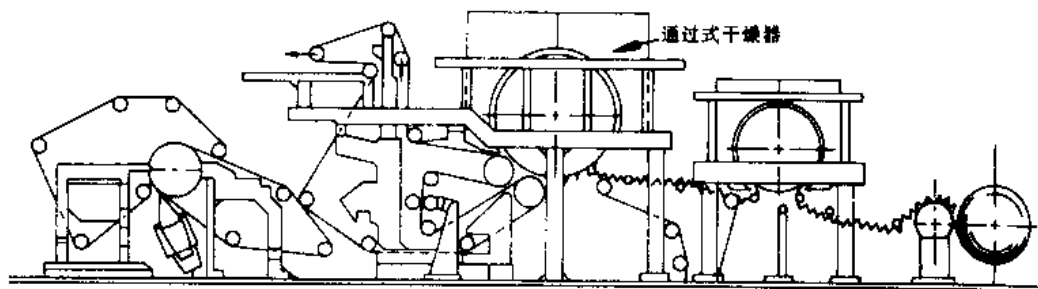


图 20-22 湿起皱薄型纸机简图 (Honeycomb Systems 公司)

参 考 文 献

- (1) GREINER, T. S. **The Trend Toward Lightweight Newsprint** *Tappi Journal* (August 1989)
- (2) GARCIA, D. A. **Newsprint Producers Concerned As States Eye Taxes, Recycling Goals** *Pulp&Paper* (July 1989)
- (3) SMOOK, G. A. **The Role of Chemical Pulp in Newsprint Manufacture** *P&P Canada* 80: 4: T123 (April 1979)
- (4) ROISUM, D. R. **Runnability of Paper (Part 1 and 2)** *Tappi Journal* (January & February 1990)
- (5) SUTTON, P. **New Method to Make a New Grade** *P&P International* (October 1986)
- (6) Gustafsson, R. **Airborne Dryers Can Help Mills Stretch Both Paper Quality and Fiber Resources** *Paper Trade Journal* (October 1, 1975)
- (7) KURDIN, J. A. **Operating Conditions Critical in Refining High-Yield Chemical Pulp** *Pulp & Paper* (March 1981)
- (8) DOBBINS, R. J. **High-Kappa Grocery Bag by Means of Stock Fractionation** TAPPI Alkaline Conference (September 1977)
- (9) SMITH, W. E. **Using OCC in Container Board Grades** *Tappi Journal* (March 1986)
- (10) OLIVER, J. F. **Dry-Creping of Tissue Paper-A Review of Basic Factors** *TAPPI* 63:12:91 (December 1980)
- (11) SLOAN, J. H. **Yankee Dryer Coatings** *Tappi Journal* (August 1991)

第 21 章 纸机运行的经济分析

假设一台设计良好的纸机，产品又有很好的市场，则影响生产率与利润率的主要因素是：

- 抄造率。
- 纸机速度。
- 成品率 (trim efficiency)。

这三个术语常用于表示纸机运行的特征。时间效率是指纸机可用于运行的时间百分率。运行效率是指实际所生产的合格品吨数占以同样车速在可利用时间内所能生产吨数的百分率。绝对效率是指时间效率和运行效率的累积，也等于合格品产量占工厂开机期间所有时间（包括维修时间）内理论产量的百分率。实际上绝对效率是唯一的参数，所有在这里讨论中所引用的数据都将是绝对效率。读者通常应该警惕那些不具体指明的纸机效率数据⁽¹⁾。

纸机速度的效应是很明显的，如果所有其他因素不变，速度与纸机产量成正比。纸机速度是在纸机操作工直接控制下的。运行效率受许多因素的影响，而常被看作是运行和维护训练及方法的反映。

成品率是指实际上切成纸辊或纸张的纸宽的数量与可销售总纸宽的数量相比较。该指标受如何安排订货计划的影响，主要是在生产计划部门的控制之下⁽²⁾。有时，出于工厂员工控制以外的原因，纸机宽度可能与大量订货所要宽度不符。例如，有几台在 20 世纪 60 年代后期安装的新闻纸机设计生产可销售纸宽为 7620mm，等于 5 个标准的 1524mm 宽纸辊，或等于全辊、半辊、或 1/4 辊的不同组合。此后不久，许多报纸出版商宣布为“节约纸张”规定了略窄的纸辊规格（比如说 1448mm）。纸辊宽度规格这样一改变，就使生产计划部门很难获得高的成品。

有时纸机的运行效率很高，但由于操作工不愿意提高车速，总的生产率还是不高。一般说，纸

机应在最高产量的速度范围内运行，如图 21-1 所示。虽然生产故障、维修和网、毯磨损均随车速而增加，但这些因素对生产率和利润率目标而言是次要的。

一台纸机在特定产量下运行，它与其他生产同类品种的纸机比较，产量可以高些或低些。为了估计一定纸机的相对使用性能，可不考虑机宽，而以每天每米机宽的产量（吨）进行计算和跟其他纸机进行比较。表 21-1 提供了 1987 年各品种最大产量的汇总表。

纸机和纸板机一般在接近理论最高产量下运行，它受制于传动系统或干燥能力不足。在受速度制约的情况下，如果可在现有速度限额内有效运行，且没有受其他方面的制约，则将传动和其他附属系统加以升级改造，使在更高速度下运行是合理可取的。

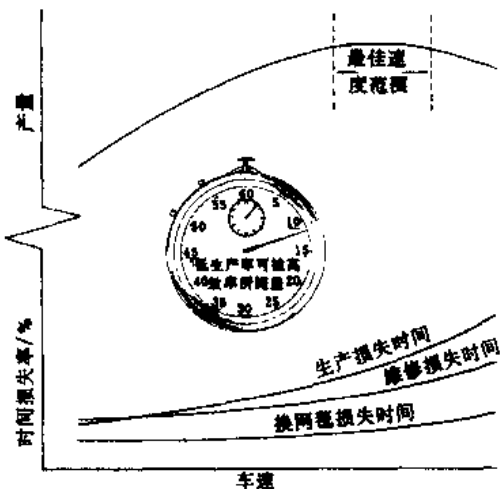


图 21-1 车速对纸机效率和生产率的影响

表 21-1 各种已知的最高生产率 (Don Ely, 1987)

品种	定量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	速度/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	产量/ $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$
新闻纸	48.3	1370	106.2
涂布原纸	40	1220	77.1
	50	999	79.5
印刷/书写纸	88	1113	101.5
	60.2	1022	97.6
	75.5	930	114.9
木漂牛皮纸	81.4	870	112.2
牛皮挂面纸板	12.3	777	156.6
	68.3	698	227.2
	112.3	518	285.4
	146.4	384	267.7
漂白硫酸盐浆纸板	317.3	290	145.7
	504	195	156.3
涂布折叠纸板	240	413	151.6
	280	349	154.7
液体包装纸板	212	317	106.3
	465	100	122.0
瓦楞原纸	127	764	153.5
壁纸板	148	523	121.6
圆网纸板	288	232	106.3
干起皱卫生纸	12	2100	40.2
	19	1616	41.7
干起皱餐巾纸	13	2000	41.6
湿起皱餐巾纸	38.4	1402	85.4
	41	915	58.7
	44	854	59.8

21.1 影响纸机效率的因素

每日纸机效率计算如下:

$$\text{纸机效率} = \text{合格品产量} / \text{理论产量} \times (100\%)$$

式中:

(1) 合格品产量是指 24h 终了时累积生产的合格品量

(2) 理论产量是指在同样速度、抄宽和定量下 24h 内可生产的最大吨数, 计算(单位要一致)如下:

$$\text{理论产量} = (\text{速度})(\text{抄宽})(\text{定量})(\text{抄造时间})$$

以公制为单位, 利用下列单位和换算可列出下列式:

$$\text{吨数} / \text{天} = \text{m} / \text{min} \times \text{m} \times \text{g} / \text{m}^2 \times (1440 \text{min} / \text{天}) \times (\text{吨数} / 10^6 \text{g})$$

造成纸机生产或作业时间损失的因素很多。表 21-2 简单汇集了这些因素。显然, 对较复杂的(例如含施胶压榨、涂布和涂后干燥的)生产作业影响的因素就更多了。例如, 对涂布印刷纸纸机, 时间损失和产量损失的原因可列出 100 种以上。

时间损失和产量损失分别按作业时间和理论产量的百分率计算。这些按百分数列出的各种原因可以叠加；而且如果仔细计算所有损失，总损失加上运行效率应等于 100%。实际上，所测得的损失并不全部构成效率的总损失（即效率为 100）。其差别称为“未计及的损失”，一般在 1% 与 2% 之间。在某些机台上高达 4% 或 5% 是表明损失时间的计算程序有问题，可能掩盖着某些严重问题。主要的按百分数计的时间损失和产量损失，归纳在表 21-3 上。

作业时间损失包括停机或因断头、卷纸问题、清洗、换品种和开机等所损失的产量。毯网时间损失包括所有为修理或更换成形网、压榨毛毯、干毯和引纸绳所损失的时间。由于服务部门或缺浆（浆厂出了故障）而造成的停机都不是纸机操作工所能控制的；但在已有纸厂中这类原因降低的纸机效率一般不到 1%。

表 21-2

纸机损失产量的原因

生产中断	• 压榨毛毯
• 断纸	• 干毯
• 卷纸和压光机问题	• 引纸绳
• 开机	服务部门影响
• 换品种	• 电
检修停机	• 蒸汽
• 机械	• 空气
• 电气	机外损失
• 仪表	• 纸卷切下纸边
毯网修补或更换	• 复卷机损纸
• 成形网	等外品产量

表 21-3

按百分率计的时间损失和产量损失

生产运行时间损失率/% = $\frac{\text{生产中断时间性 (100)}}{\text{可利用时间}}$	等外品率/% = $\frac{(\text{实际总产量} - \text{合格品产量}) (100)}{\text{理论产量}}$
维修时间损失率/% = $\frac{\text{检修停机时间 (100)}}{\text{可利用时间}}$	切损率/% = $\frac{\text{纸卷切边量}}{\text{理论产量}}$
毯网时间损失率/% = $\frac{\text{毯网停机时间 (100)}}{\text{可利用时间}}$	未计及的损失率/% = 按总损失与已知损失之差计算
因服务部门时间损失率/% = $\frac{\text{因服务部门停机时间 (100)}}{\text{可利用时间}}$	

维修时间损失包括所有机械、电气或过程控制方面维修的停机。显然，有些维修应该在计划停机期间进行，以使许多同时进行的维修工作可在协调与高效的情况下完成。但是，如果设备很少损坏，计划或预防维修很可能是多余的。另一方面如果因设备损坏而有大量维修工作要做时，在临时调集检修人员和缺乏计划与协调的情况下就会浪费不少时间。一般认为在计划维修和无计划维修之间进行很好平衡，将导致最低的总维修费用和最少的纸机停机时间，这在图 21-2 中有定性展示。根据某项估计⁽¹⁾，计划维修百分率 75%~90% 是最理想的实施范围。

等外品产量通常也计量，因而要很好说明原因。可惜还必须把切损估算进去，而这里一个偏低数字就可轻易增加未计及损失的水平。

全世界除德国和日本外，纸机效率在过去 20 年间

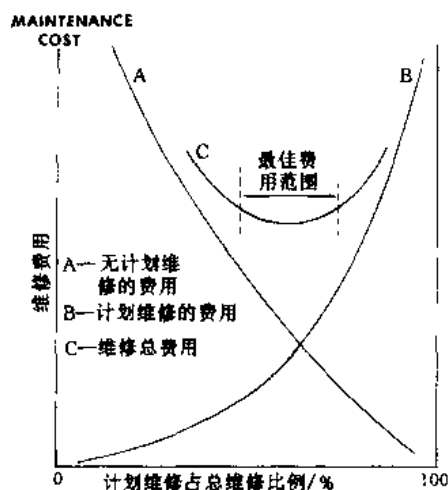


图 21-2 计划维修占总维修费用百分率的效应

已呈下降趋势⁽²⁾。下降原因可能是由降低定量、提高车速和减少优质浆配比(如多用废纸)等综合因素造成。下降更有可能是由于在管理上长期削减成本的措施,导致工程技术人员普遍减少、操作人员和管理人员培训不够以及计划维修的缺乏。据一位日本专家称,高效率抄纸要求依靠工作上互相配合的能干而有想象力的从业人员群体,密切关注产量损失的每一个细节;为了纠正缺陷,必须制订与实施行动计划,并监控其有效性。

21.2 时间损失的分析

为了找出具体的低效率区域以及在问题发生时将其识别出来,需要有个证明和分析纸机时间损失的系统性方法⁽³⁾。虽然时间损失分析的好处是公认的(汇总于表 21-4 中),通过纸厂管理,在重视此项活动方面做的仍然是有好有差。必须强调,时间损失分析的最终目的是减少时间损失和(或)产量损失。但强制性的操作训练以及“要遵循什么”的很多知识也对改进纸机操作有重要贡献。

表 21-4

时间损失分析的好处

1. 明确指出产量损失的原因,以便可计划恰当的行动	3. 加强操作训练,使纸机人员认识到某些生产缺陷如何使纸机失去生产能力的
2. 提供管理控制。引起管理部门对存在问题(它可能被其他方面所容忍)的注意	4. 向技术服务和研究机构指出他们可有效进行活动的领域

时间损失分析的所有数据均来自自动监控设备与纸机操作人员的观察与估计。虽然纸幅在纸机的每个部分断头时,断纸自动监控系统会计算出损失的时间,但操作人员仍必须提供一定的解释性资料。对纸机人员这方面本领的训练应看作是生产管理人员的一项重要任务。在运行当班或交班时的实际数据记录,通过给操作者提供适当表格或数据记录表很容易做到。

时间损失分析的主要步骤列于表 21-5 中。虽然数据必须以每日为基础列出表格,但根据不到 3 个月(即 1 季度)运行周期的对比值和趋势,很可能不是十分有用的。例如,图 21-3 的趋势曲线图显示了在 13 年的生产期间,二台新闻纸机的年平均两类(生产和维修)时间的损失。在此时间跨度内,纸机速度的增加似乎已对生产故障的发生产生了影响,而同时在维修方面则没有显示出明显的趋势。

表 21-5

时间损失分析的步骤

1. 证实各种形式的纸机时间损失和产量损失	4. 将数据绘制曲线图以显示其趋势
2. 将有意义的的数据列表	5. 把重点集中于所发现的具体问题
3. 将数据与可比机台比较,以获得对问题和缺陷的直接了解	

图 21-4 显示了一台新闻纸机维修时间损失的季度曲线图。在该例子中,可容易地看到计划性维修和损坏性(即非计划)维修之间的分配,以及趋向于目标水平所取得的进步。在 1989 年四季度所采取措施明显产生了效果。

断头是在高速低定量纸机上生产时间损失的最重要原因。在这里如有可能应尽力对纸机断头找出“断纸头”并贴上标签,将它放入每台纸机的专用箱中。断纸头是了解纸机发生什么样断头的重要关键。系统的考察断纸头,再结合对断头地点的了解,往往可在情况严重化

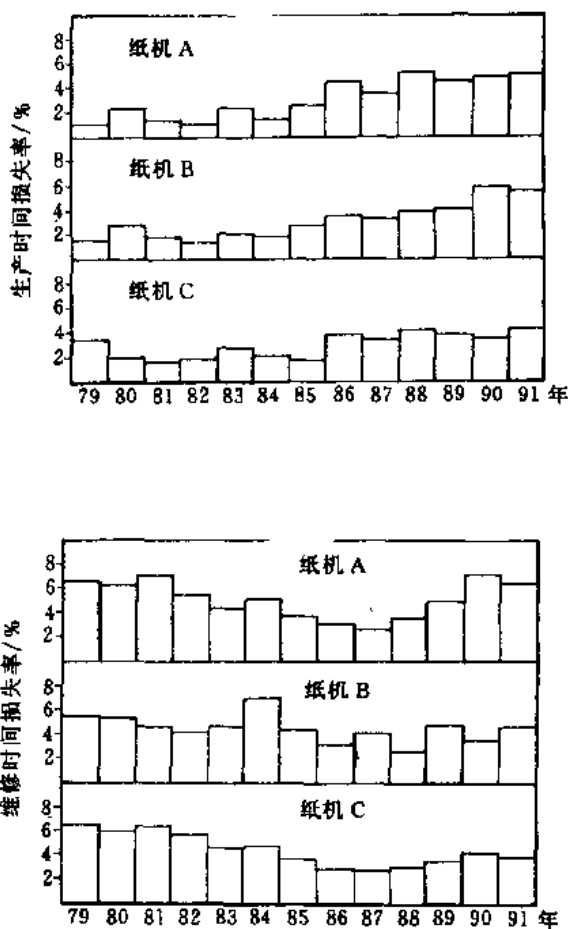


图 21-3 三台新闻纸纸机在 13 年的跨度内年平均生产和维修时间的损失率

以前找出问题所在。表 21-6 提供了一台双网新闻纸纸机湿部断头的特征,而图 21-5 则显示纸机横向断头位置的分布。图 21-6 显示带两台涂布机的纸机各断头位置所损失的时间。

在拥有好几家纸厂的大造纸公司中,比较纸厂之间的纸机运行性能,可能是有益的。显然,要求各个纸厂上报在类似情况下的时间损失是必要的。同样在公司之间进行比较也有用处;但这里表示“时间损失”的术语必须有明确的界定,以便可作必要的调整,使各不同系统纳入一个共同基础。可惜对“时间损失”的报告,在目前还没有一个被普遍认可的标准化系统。

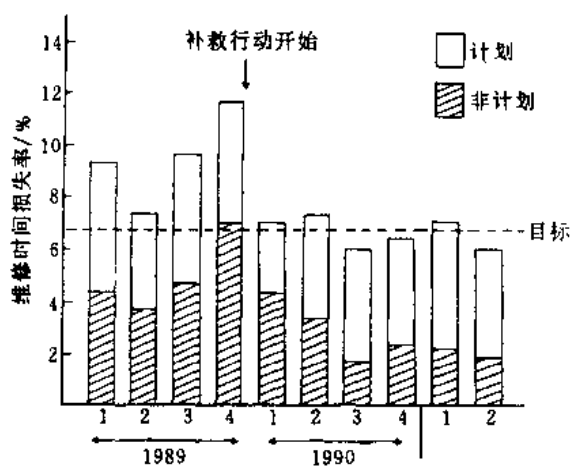


图 21-4 维修时间损失的季度曲线图

表 21-6

双网新闻纸纸机上湿部断头特点的汇总

数量		数量	
观察到的全部断头数	87	沉积物在下列位置的断头数	
下列沉积物型式的断头数		回网侧	16
—细小物质积聚	44	—运送网侧	51
—浆块	28	不固定	15
—其他	10	引纸和脱层的断头数	18
		边缘开裂的断头数	27

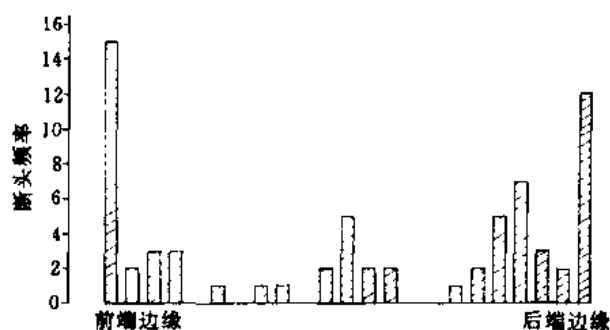


图 21-5 纸机横向断头频率的分布

时间损失分析的一个重要好处是改进管理。各级管理部门应该提供时间损失分析所显示的数据，以连续图表形式一目了然地展示出来。在测定纸机性能中，对每台纸机，根据纸机所能达到的判断，制定一个目标效率是很有用的。该目标效率不应根据纸机过去的运行性能，而应根据对情况的实际技术评估。必须承认，可能要好几年的时间才能获得最佳效率。

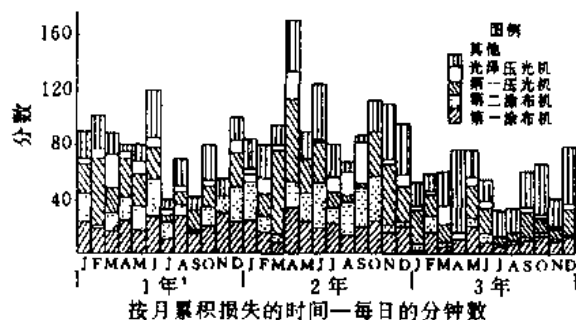


图 21-6 带两台涂布机的纸机各断头位置所损失的时间

21.3 生产纸种与利润率的关系

生产多品种和多定量的纸机在最佳利润率方面提出了一个特别的挑战。对快速和有效更换品种的需求，以及生产计划部门在编制纸机进度中所起的作用，早已被注意到了。一般认为，对多品种纸机主要是找出利润最大的品种，并强调对这些“面包和奶油（指利润最大的纸种——译注）”的销售。其余品种的销售只是用作“填满订货单子”和维持纸机的生产率。

一台高级纸纸机非常典型的生产曲线示于图 21-7 中。低定量纸的生产率很可能受传动系统速度限制、湿部抄造性能或施胶压榨后干燥能力的制约。当然，提高纸机速度，在某种程度上将弥补降低纸页定量对产量的影响；但高车速对低定量纸页所额外增加的应力，很可能造成抄造性能上的问题，而且在施胶压榨上的水分吸附量几乎与纸机速度成正比。在高定量范围时的产量一般受施胶压榨前干燥部能力的制约。

因为低定量高级纸产品的每吨销售价要高一些，所以其纸机的利润率曲线的形状如图

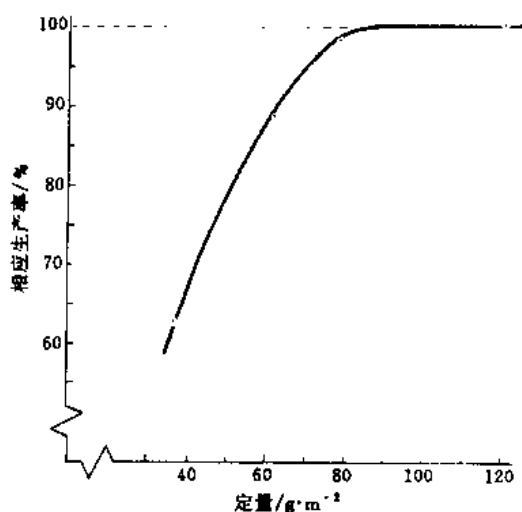


图 21-7 在高级纸机生产率上定量的影响

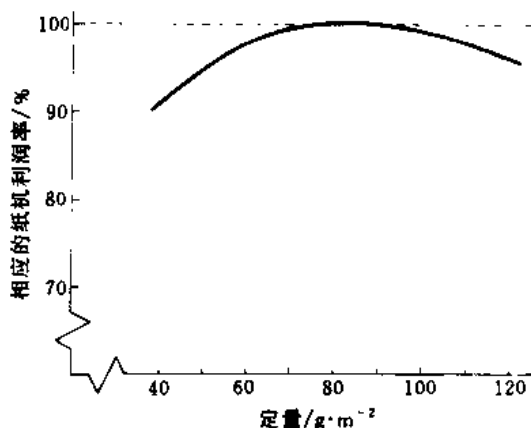


图 21-8 定量对高级纸机利润率的影响

21-8 所示。通常发现在中等定量时的利润率最高。如果订货大部分是在偏低或偏高定量范围，则将纸机作些改变以克服阻碍生产率的、不管哪方面的“瓶颈”是值得的。纸厂有两台或三台多品种纸机，对最佳利润率来说是很理想的，因为一台纸机就可作适当的配备，以便把低定量纸增加到最大产量，而另一台则生产较高定量的。

挂面纸板纸的一个不甚典型的生产率曲线示于图 21-9。在该机中，胶料溶液施加在压光机组上，在较高速度（即较低定量）时的产量受压光机间干燥能力的制约。在较高定量时的产量受长网脱水的制约；网案主要是用案板，其脱水作用是速度依赖型的。对挂面纸板机的产品而言，定量上的价格差很小，所以利润率曲线与生产率曲线的形状大致相同。

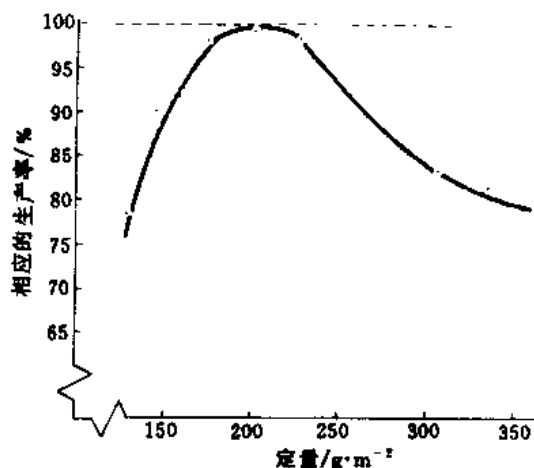


图 21-9 定量对挂面纸板机生产率的影响

虽然从多品种纸机获得最大产量通常与最大利润率是相应的，但也有例外，主要是生产低定量特种纸板的纸机。此时，纸板机按利润目标（而不是按产量目标）运行更有意义。

参 考 文 献

- (1) MARDON, J., VYSE, R. N. AND ELY, D. *Paper Machine Efficiency*. . . *P&P Canada* 92; 12: 87 (December 1991)
- (2) URONEN, P. *Production Planning Systems for Integrated Paper Mills: Tasks and Methodology* *P&P Canada* 82; 3: T86-89 (March 1981)
- (3) MARDON, J. VYSE, R. N. AND TKACZ, A. F. *Lost Time Analysis: the key to Efficiency Improvement* *Tappi Journal* 67; 3: 94 (March 1984)

第 22 章 纸浆和纸张的性能及检测

纸浆和纸张产品通常都根据意义明确的术语和检测步骤表示其特性并加以换算的。目的是保证所有参与者在讨论纸浆与纸张产品和检测值时都讲同一“语言”。

在全世界主要制浆造纸组织出版的一系列标准方法中，对检测步骤以及若干术语均有阐述。英语标准方法的颁布者列于表 22-1 中。不同组织描述同一检测步骤的标准方法在细节上往往有所不同。但只要标准方法的来源一定，就能以最少的含糊与误会实行纸浆与纸张的交易和科学研究的论证。近年来，ISO（International Organization for Standardization，国际标准组织）在出版大量为主要国家所承认的纸浆与纸张标准上已取得进展。

表 22-1 英语标准方法的制订者

TAPPI	制浆造纸工业技术协会（USA）	ASTM	美国检验与材料协会
CPPA-TS	加拿大制浆造纸协会技术部	BPBIF	不列颠纸张与纸板工业联合
SCAN	北欧纸浆、纸张和纸板检验委员会	APPITA	澳大利亚与新西兰制浆造纸工业技术协会

22.1 检测的目的

纸厂日常的检测和监控程序，可能是出于表 22-2 中所列的一个或几个目的。进行非日常检测是作为调查纸厂问题的一部分，或作为努力改进过程效率的一部分。

表 22-2 纸厂日常检测和监控程序的目的

原材料控制	监控进厂原材料质量	过程监督	评估运行性能
过程控制	控制特定界限内的工艺过程		对工艺目标的跟踪程序
质量控制	监控产品质量		与其他纸厂比较运行性能
	尽量减少等外品量		细小的故障区
污染控制	控制废物排放	财务控制	建立成本分析
	控制纤维流失		为考虑建议方案提供财务基础
			细小的高成本区

为了纸厂运行和产品的技术控制，充分准确而迅速地进行检测以提供及时信息是很重要的。有效的检测程序对过程控制是必不可少的，高产量与稳定的质量均有赖于此。除非能察觉出细微的差异，否则就无法估计工艺过程的“动向”，操作者也就不能及时采取补救措施，直至发生严重变化。

工厂控制性检测（由未经技术培训的操作工完成）的要求是简单、快捷和内在可重现性。更复杂的、必须由试验室经过培训的技术人员完成的检测，由于其明显的时间滞后，不能用作控制的目的。可惜在制浆造纸过程控制中若干有意义的性能很难测定。在许多情况下，某个性能必须从相关性能的测量中估计出来。

一个不好的检测或一个有错误的检测，有时比干脆没有检测还要糟，因为它给出虚假的

结果, 据此将会作出不正确的决定。一个灵敏度不高的检测方法将使过程中发生有害变化而察觉不出来, 同时, 一个错误的检测结果有时将使操作者采取错误的操作行为。

22.2 检测步骤的特征

所有的检测步骤均可以其灵敏度(或仪表可读度)、精确度和准确度表示其特征。这些术语在表 22-3 中明确说明。

表 22-3

检验特征术语的定义

灵敏度	可察觉出被测性能的最细微变化, 通常以最小增量差表示
可读度	从一个仪表上可读到的最小增量差(注意: 可读度有时也可利用放大镜或游标尺加以改善; 但在可读性好于灵敏度时无效)
精确度	当以同一样品或接近相同的样品进行重复检测(重现)时可预期的变化度
准确度	检测值与真实值之间的差别(注意: 如果“真实性”必须由若干理想化的方法来决定, 则测量准确度就没什么实际意义)

必须强调精确度与准确度之间的不同点。精确度是评价检测的可重现性, 但不牵涉到检测值与真实值的关系。例如, 如果一个仪表未经校准或如果检测一个没有可再现性的样品, 不论哪种情况检测结果都可能是精确的, 但很可能将是不准确的。表 22-4 列出了影响精确度和准确度的因素。

任何检测结果的精确度均可根据标准偏移或根据统计学置信度界限给予统计学上的明确定义。标准偏移(以希腊字母 Σ 表示)是平均所读得值的均方根偏移。低值(相应于平均值)代表紧紧地集结围绕于平均值的数据点, 而高值则代表更为分散的数据。

表 22-4

影响精确度和准确度的因素

<ul style="list-style-type: none"> • 仪表可读度 • 仪表或检测的灵敏度 • 取样失误 • 检测步骤不一样 	<ul style="list-style-type: none"> • 仪表校准 • 测得性能与期望性能之间关系的变化 • 外部因素
---	--

计算 $\Sigma(\sigma)$ 的公式如下所示。
$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

式中 x ——各读数的值

\bar{x} ——所有读数的算术平均值

n ——检测读数的次数

置信度水平在统计学上代表真实数值有多经常地实际落入到特定范围内。例如, 表示一个在置信度为 95% 的实验数值 178 ± 4 , 意味着在所有 95% 情况下, 实际数值在 174 与 182 之间。标准偏移和置信度水平是直接相关的, 如表 22-5 所示。加或减 2σ 的范围最接近于 95% 置信度水平。

表 22-5

根据 Σ 倍数的不同范围数据的置信度

$-0.675\sigma = 50\%$	置信度	$\pm 3\sigma = 99.7\%$	置信度
$\pm 1\sigma = 68\%$	置信度	$\pm 4\sigma = 99.994\%$	置信度
$\pm 2\sigma = 95.5\%$	置信度		

将标准偏移改变为以变化度(%)或误差率(%)表示的平均检测值百分数,往往非常有用。若干普通磨木浆检测的标准偏移和变化率示于表 22-6。变化率(%)对于比较不同检测的相对精确度更为方便。

表 22-6 普通磨木浆检测的精确度

	\bar{r}	σ	变化率/%
加拿大标准游离度/ml	102	4.0	3.9
耐破指数/(kPa·m ²)·g ⁻¹	1.22	0.06	4.9
撕裂指数/(mN·m ²)·g ⁻¹	1.91	0.29	5.9
裂断长/km	3.50	0.11	3.1
亮度/%	51.2	0.5	
松厚度/cm ³ ·g ⁻¹	2.56	0.06	

改进检测精确度的一项措施是增加重复检测的次数。但重复次数较多意味着技术检测成本较高。因此,每项标准检测方法规定的重复次数是所需精确度与检测成本之间的综合权衡。若干普通强度检测的具体重复次数,列示于表 22-7。不同浆种在这类检测的精确度上重复次数的效应示于表 22-8。

表 22-7 标准检测方法规定的重复次数

	TAPPI	SCAN	APPITA
厚度,检测数(层数)	10(5)	5(4)	10(8)
撕裂度(4层)	4	2	4
耐破度	10	8	8
抗张强度	10	8	8
伸长率	10	8	8
耐折度	5*	5	16**

* 根据精确度要求,或为 10 或 5

** 实际一般不这样做

表 22-8 标准检测的精确度(F. H. Phillips)。

	次数 n	平均值的标准误差/%			
		未漂硬木浆		未漂软木浆	
		未打浆	打浆	未打浆	打浆
厚度	5	0.40	0.27	0.59	0.29
	10	0.21	0.20	0.42	0.20
撕裂度	1	13.5	8.6	7.8	5.3
	2	9.6	6.1	5.5	3.7
	3	7.8	5.0	4.5	3.0
	4	6.8	4.3	3.9	2.1

续表

	次数 n	平均值的标准误差/%			
		未漂硬木浆		未漂软木浆	
		未打浆	打浆	未打浆	打浆
耐破度	2	11.7	4.8	4.3	3.2
	4	8.3	3.4	3.0	2.2
	6	6.7	2.8	2.5	1.8
	8	5.8	2.4	2.1	1.6
	10	5.2	2.2	1.9	1.4
抗张强度	2	4.7	3.4	3.7	2.9
	4	3.3	2.4	2.6	2.1
	6	2.7	2.0	2.1	1.7
	8	2.1	1.7	1.9	1.5
	10	2.1	1.2	1.7	1.3
伸长率	2	10.3	6.1	4.9	4.6
	4	7.3	4.3	3.5	3.3
	6	6.0	3.5	2.8	2.7
	8	5.2	3.0	2.5	2.3
	10	4.6	2.7	2.2	2.1
耐折度	2	25	16	18	13
	4	18	11	13	9
	6	15	9	10	8
	8	13	8	9	7

大多数检测值通常不包括 σ 极限或置信度极限。但是精确度的定性结论是由报告值中的重要数字表示的。从 4 开始一直到 9 的纸浆和纸的检测值一般修正为 2 个重要数字, 而从 1 开始一直到 3 的检测值则报告 3 个重要数字。例外的是耐折度 (出了名的不精确检测), 报告一个或两个重要数字。在任何重叠的检测值组中, 最好与最后的重要数字相一致。

在确定精确度中的问题

检测精确度的报告书应把检测的确切条件也考虑进去。不同的环境条件可在同一检测中很容易造成精确度的广泛波动。例如, 一组纸张厚度数据可因下列情况而显出波动:

- 局部区域的纸页。
- 全部纸页。
- 取自同一纸辊的不同纸页。
- 大纸卷横向的不同纸辊。
- 取自一批纸的不同纸页。

要注意: 许多纸张检测都是破坏性检测, 它排除了在同一部位做重复检测的可能性。

确定一个检测程序的精确度, 明确检测是在实验室之间还是在单个实验室内进行, 是很重要的。如果检测程序是在单个实验室内进行, 就必需明确所用仪器数和操作人员数。如果进行检测, 将会发现, 几个检测之间波动最小的是:

- 由同一操作人员进行。

- 在同一仪器上进行。
- 用同一试样进行。
- 在一个短时周期内进行。

取样

如果要用一小片试样的检测结果来表示大批量材料的特征,则适当的取样步骤是很重要的。例如,在纸机干部只有一小片纸页用来表示整个大纸卷的特征,很重要的是试样或被适当加权的试样在纵向和横向方面有差异。要想获取切削出来的或外运来的送去蒸煮木片的代表性试样,以测定其水分含量或表示其质量特性,在制浆厂常常是一个挑战性难题。

在制浆造纸厂的另一个专门问题是获取浓度测量用的代表性浆样。在这方面,配备一个如图 22-1 所示的适当的取样接头是十分有用的,且证明是行之有效的。对接头的评价⁽¹⁾应该通过快速连续取样(例如,也许在 5s 间隔内取 20 个试样)、测定每个试样的浓度并按时间顺序将结果绘制成曲线图。所见到差异将由系统差异和随机差异(误差)所组成。如果显然是系统差异(即显示出一种图样)则将几个较小的试样混合起来,就可得到一个代表性试样。但如果是随机差异占优势,就需要改进取样的位置。通常长纤维浆在浓度 3.0% 以上时可能会有较高度度的随机差异。

估计工厂间的差异

为保证制浆造纸厂的检测程序可靠及其检测结果有意义,在公司内部和(或)公司之间进行若干基本比较是必要的。监控工厂之间的检测差异有两种方法:

——在循环检测中将几乎相同的试样送去公司内部各工厂或实验室进行检测、在常规基础上检查检测结果的差异以确定任何检测值中所存在的或出现的偏差。

——实验室间参考系统是循环程序的更先进形式。在这里,权威机关(如与 TAPPI 有合作关系的国家标准局或加拿大制浆造纸研究所)将附有暂定检测值的试样提供给各工厂或实验室。然后各工厂或实验室报告它们的检测值,而由协作单位发布其摘要值。接近于算术平均值的一般就假定是真正值,而与平均值相差较大的值则说明是校准设备有问题或方法不对头。

在设计这些办法以检查检测值差异的原因(即仪器校准、步骤、操作者技术等)之余,定时对每个检测者进行评价也很重要。另外,所提供的暂定值必须对检测者保密,以确保检测结果不出差错。暂定值与检测结果之间的明显差异可能警告企业管理人员需立即采取补救措施。

在设计这些办法以检查检测值差异的原因(即仪器校准、步骤、操作者技术等)之余,定时对每个检测者进行评价也很重要。另外,所提供的暂定值必须对检测者保密,以确保检测结果不出差错。暂定值与检测结果之间的明显差异可能警告企业管理人员需立即采取补救措施。

22.3 纸浆检测

大量检测方法常用于表示纸浆在质量、加工性能以及对各种最终用途的适应性方面的特性。更基础性的测定结果提供预测纸浆行为的手段,但在工厂实验室中应用往往又过于复杂。功能性检测则用于测量特定的性能。表 22-9 归纳了各种检测法。

一般地说,对纸浆强度检测是比较重视的。但在许多应用场合,强度不是很重要的。例

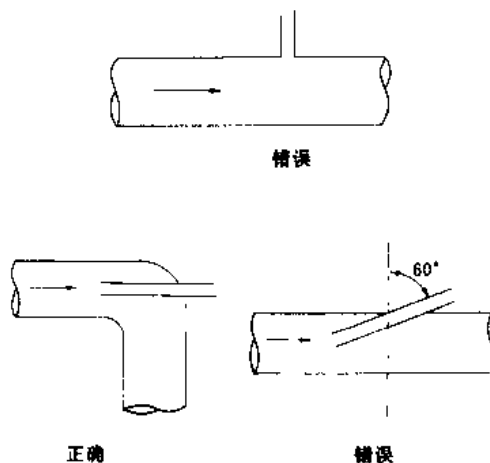


图 22-1 取样接头

如,在高级纸中,适应性能是最重要的。对手抄浆页的常见强度检测(诸如耐破度、撕裂度、抗张强度、和耐折度)应该补充基础性能方面的知识以获得对纸浆质量的恰当了解。如果纸浆强度低,就可解释为什么低以及在什么特殊情况下它的强度低。

纸浆的化学检测

化学检测一般用于测定化学浆的木素(非纤维素)含量以及根据平均聚合度(DP)和 α 纤维含量确定纤维素部分的数量。

Kappa 值

纸浆纤维的木素与其他非纤维素组分与酸性高锰酸盐迅速反应。该反应作为 Kappa 值(或“K 值”)或高锰酸盐值(“P 值”)检测的基础。在这两种检测中,经仔细称重的浆样在可控条件下与已知体积的高锰酸盐溶液起反应,再用“反滴定”测定所消耗的量。Kappa 值的检测法由于适应于全部蒸煮范围,已逐步取代原来的高锰酸盐检测法。Kappa 值还跟得率低于 70% 的纸浆中木素含量成线性关系;木素百分含量大约等于 $K \times 0.15$ 。

在工厂的控制工作中使用 Kappa 值检测,有两个特定目的:

- 表明发生在蒸煮期间的脱木素程度(即作为蒸煮的控制性测试)。
- 表明漂白的化学品需用量。

这两个目的实际上决不会合并在同一次检测上,因为蒸煮与漂白之间有着一大段生产间隔。在未漂浆方面具有若干纸浆混和能力的纸厂,蒸煮与预漂白之间 Kappa 值变化率的下降,可用作测定混和效果。

纤维素溶液粘度

利用测定已知浓度的纤维素溶液的粘度可很好表示出纤维素的聚合度。有很多反应剂被认为是适用于此目的的溶剂,但铜乙氢氧二铵(一般简称 CED 或铜铵溶液)目前用得最普遍,因为它迅速溶解纤维素并具有良好的化学稳定性。

大家知道,当聚合度下降到临界水平以下时,纸浆强度指数遭到显著破坏。临界水平跟配比与工艺条件有关,必须详细说明每个特定情况。在多数漂白化学浆厂,铜铵粘度检测用于监控生产失常和发出纸浆质量等外的信号。

α 纤维素

全纤维素长链分子部分(α 纤维素)的化学定义是,能抵抗强碱液溶解的那部分纤维素。化学测定方法是用烧碱液在特定条件下抽提纸浆以溶解掉短链纤维素和半纤维素可溶性部分,然后再以重铬酸钾氧化进行测定,由差值计算出 α 纤维素组分。

纸浆的物理性能

通常除化学性能外所有可测量的纸浆特性都可归在物理性能方面。这方面性能有基础测

表 22 9 表示纸浆特性的方法

基础性测定
加权平均纤维长度
纤维内在强度
纤维粗度
比表面积与比容积
湿紧密性
化学分析
过滤阻力
纤维饱和点
功能性检测
Kappa 值
纤维素溶液粘度
滤水度
色度与白度
洁净度
纤维筛分
湿纸幅强度
湿破裂功
保水值
湿压缩性
打浆机评价
(手抄浆页的强度)

定和功能检测两类。

纤维长度

传统上, 纸浆试样的纤维长度分布或加权平均纤维长度, 或用代表性数量纤维的显微镜观察法, 或用特制格栅法和筛分法将试样分成不同长度的组分。在显微镜法中, 已知重量的纤维的放大图像投射到经过校准的网格图形上, 测量所有纤维长度, 形成一个长度分布, 并以数学方法计算出平均纤维长度。

在格栅法中, 将一个装有许多等距离叶片的铜环代替手抄机中的筛子。使配制好的浆料悬浮液流过格栅, 测定留在格栅上的纤维质量, 并以相应指示平均纤维长度的“纤维质量长度”, 给出检测报告。

在筛分法中, 纤维稀悬浮液作平行于筛缝的高速流动, 而以慢得多的速度穿过筛缝。这样纤维就沿长度方向送去一系列孔目依次缩小的筛子, 只有足以越过孔眼的短纤维进入下一个小室。纸浆试样一般分成 5 个长度组分。

测量纤维长度的常规方法, 现在已迅速被新型光学计数装置所取代。例如 Kajaani 分析仪依赖纤维素使偏振光源非偏振化的能力, 测量 144 个独立长度类中每个的纤维数量。将非常稀的纤维悬浮液 (0.001% 浓度) 倒入一个小检测容器中, 然后通过一个抽真空的玻璃毛细管排水。纤维被迫纵向通过毛细管, 并用一组光电二极管测量。所得信号用微处理机进行分析, 以得出诸如平均纤维长度和频率分布的统计表。

滤水度

纤维层对水流动的阻力是纸浆工艺和纸张抄造上的一项重要性能。在北美测定这种性能的经典方法是利用加拿大标准游离度 (CSF) 检测仪, 如图 22-2 所示。CSF 的定义是当 0.3% 浓度、20℃ 的纸浆悬浮液通过标准检测仪筛板滤水时, 从其侧孔收集到的水的体积 (mL)。

测量纸浆滤水性能的已知方法有游离度、打浆度、湿润度 (wetness) 或根据所用仪器或方法的滤水时间。如果纸浆滤水迅速, 称之为“游离状”。如果滤水缓慢, 称之为“粘状 (slow)”。游离度与打浆度具有相反的关系。Schopper-Riegler 打浆度检测仪是欧洲主要的实验室滤水度检测装置。

游离度广泛用作纸浆适应性或质量的指示。在绝大多数机械木浆生产过程中, 通过调整能量输入将产品的游离度保持在一个很窄范围内。化学木浆则常在加入到抄纸配料中以前精磨到规定的游离度。研究表明, 积累过多的细小纤维 (-200 目) 是造成滤水度下降的主要原因。从经过打浆的纸浆中除去细小纤维组分可恢复原有的滤水度, 而纸浆仍保留其经过打浆的强度性能。该发现有时被用作反对以测量滤水度表示纸浆质量的理由。

因为游离度测定常用于生产过程控制, 所以要求在线进行此性能的检测。过去 20 年来已推出了许多滤水度自动测定装置, 有不少是成功的。图 22-3 示出一个代表性的新型装置。该传感器包括一个带压力探测器的垂直定向管, 探测器调节

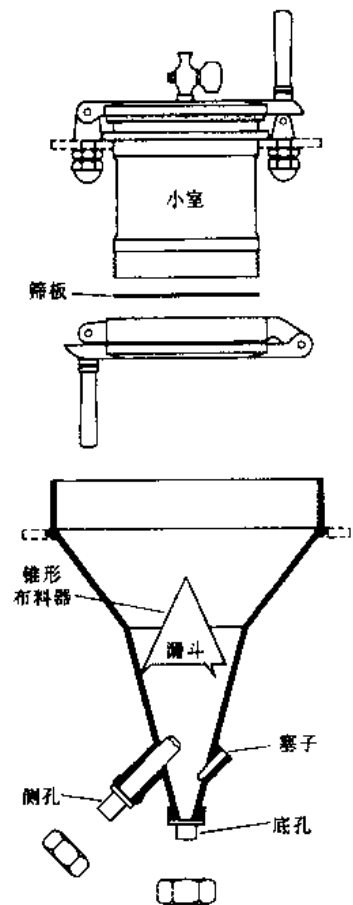


图 22-2 加拿大标准游离度检测仪

进出口压差,而与浆管压力无关。在每次检测周期开始时,微量负压使浆料上移,最后遇到筛网,于是纤维在垫片积聚,滤液则流入上部管的空间。随着滤液上升,它碰到一个水平的探头(探测器),探头使定时回路启动;当滤液接近探测器管的顶部时,它碰到另一个探头,该探头使定时程序终结。这段所消耗的时间(它与游离度相应)被显示出来并作为信号传送出去。随着比例测定的完成,探测器管内压力增加到略高于浆管压力,于是滤液与纤维又返回到浆管,准备下一个循环。在排空期间还引入清水以保证探测器管的洁净。

动态滤水度

虽然游离度测定提供了一个类似纸浆相比较的基础,传统的检测法无法模拟出发生在造纸网上的滤水型式(即带微湍和定向剪切的)。例如,磨木浆的游离度比高度打浆的化学浆要低,但在网上脱水却很快。Britt 动态滤水度瓶(列示于图 22-4)是为研究更接近于网上脱水条件下浆料的脱水现象而开发出来的。圆筒体座落在用以置放多孔板或纸机成形网样片的底座上。搅动浆样的搅拌器插入到圆筒体内,并以变速电机驱动,可使转速在 $0\sim 3000\text{r/min}$ 范围。

自从 Britt 瓶在 20 世纪 70 年代前问世后,已经开发出了许多用途。除了表示出成形网上的浆料滤水特性外,现在又是测定单程留着率、评价助剂和进行助留剂研究的得力工具。不同用途的详细程序介绍可参阅参考资料^[12]。除了原来式样外,还开发了许多变型装置。

打浆机评价

在最终分析中,纸浆的最重要性能是其抄纸的潜质。在这方面可藉在可控和可复制的情况下对纸浆进行打浆或精磨而作出最佳评价,然后将纸浆抄成标准手抄浆片,最后并用经修整的手抄浆片完成相应的物理检测。

打浆的目的是对抄纸的纤维进行机械整定。纸浆机械加工的最通用术语是“精磨”。“打浆”这术语实际是表示一种特定型式的精磨作用(见 13.2 节),它现在更常用于描述实验室中的精磨。大多数实验室打浆方式采用低强度动力供给;它们比工厂精磨机更具选择作用,且产生一般在工厂中无法重复的效果。

在实验室打浆中有两个不同的方法或目的。理想的打浆方法是改变一定的游离度而使纸浆性能获得最大改变。这种方法用于科学研究而且几乎常被商品浆厂用作质量索赔的依据。而模仿工厂型打浆方法则更接近于反映出在工厂生产中所发生的情况。这种方法有时被操作工用来评价新纸浆和在使用不同来源的纸浆时为生产控制提供更有用的根据。

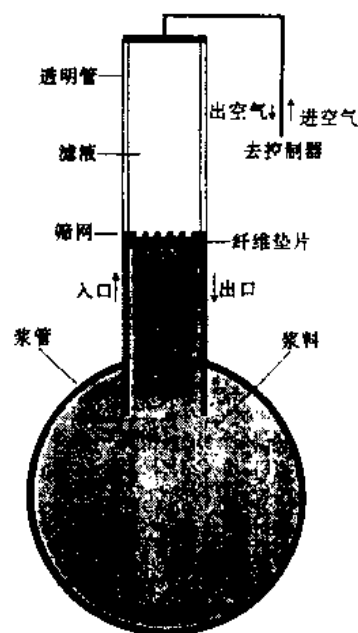


图 22-3 连续游离度传感器
(来自 Bolton-Emerson
的 Drainac III)

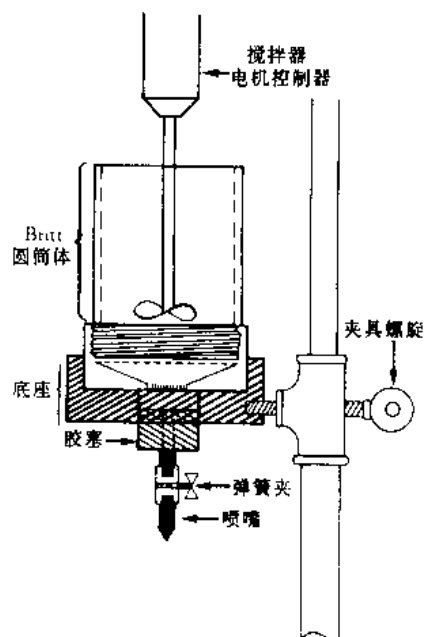


图 22-4 Britt 动态滤水度瓶

全世界的许多种实验室打浆装置均作日常检测和实验研究之用。表 22-10 列出了汇总表。在北美最常用的两种装置是 Valley 打浆机和 PFI 磨浆机。在斯堪的纳维亚半岛、英国和澳大利亚则更常用 Lampen 磨浆机。Jokro 磨浆机则主要在德国使用。

表 22-10

实验室打浆装置

Valley 打浆机	Noble 和 Wood 循环打浆机
PFI 磨浆机 (挪威造纸工业学院)	Jokro 磨浆机
Ball 或 Pebble 磨浆机	Aylesford 打浆机
Kollergang 磨浆机	Bauer-Mead 精浆机 (微型盘磨机)
Lampen 磨浆机	Escher-Wyss 精磨机 (微型 Jordan 精磨机)
Banning 和 Seybold 打浆机	

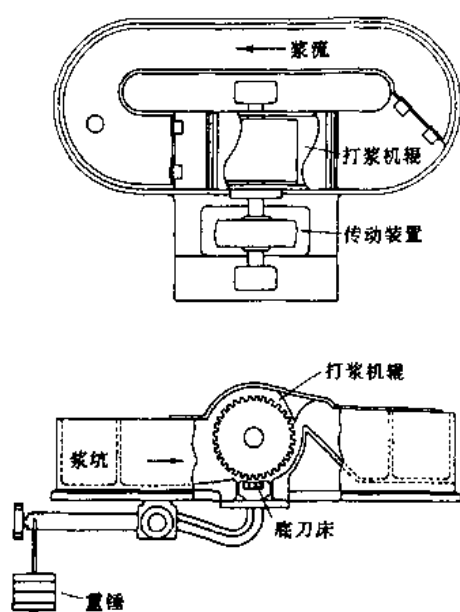


图 22-5 Valley 打浆机

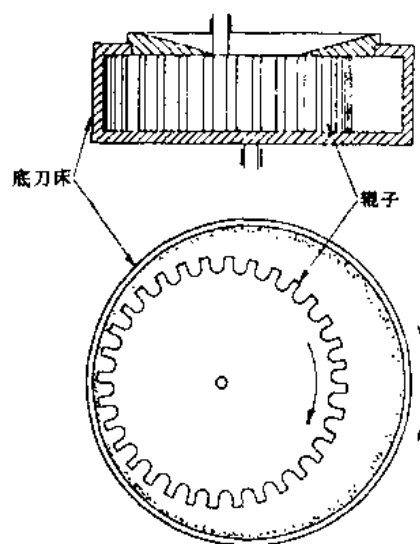


图 22-6 PFI 磨浆机的辊与外壳

Valley 打浆机 (示于图 22-5) 基本上是荷兰式打浆机的微型化。尽管这种装置有长时期的工业应用, 已逐渐被 PFI 磨浆机取代。其主要缺点是对其他的 Valley 打浆机和对同一打浆机过了一段长时间后, 很难获得再现性。此问题主要与切割刀片的不同磨损形状有关。

PFI 磨浆机 (图 22-6) 利用一个与光滑的打浆池成偏心的沟纹辊, 打浆池浆样的浓度为 10%。沟纹辊与打浆池之间的压力可利用施加重锤加以改变。辊子和“底刀床”高速旋转 (但圆周速度不同); 这种作用引致纤维的摩擦和压溃从而产生打浆效应。在正常操作时没有金属接触, 边缘磨损很小。因此这种装置很少需要校准。在对纸浆作全面评价, 所需纸浆量相对较少 (与 Valley 打浆机相比较)

Lampen 磨浆机是由围绕水平轴而旋转 (转速 250r/min) 的一个中空壳体所组成, 壳体内有一个光滑的 10kg 重的圆球, 可自由地滚动 (图 22-7)。浆样在相当低的浓度下 (软木浆 3.0%, 硬木浆 3.6%) 被旋转球研磨, 提供缓慢而温和的精磨作用。影响作用均一性的主要变数是球和壳体的显微粗糙度。

必须强调,纸浆打浆是一个机械过程,其本身并不代表评价纸浆质量的方法。与打浆相联系所进行的物理检测,则是专门提供质量信息的。这些检测显示纸浆在打浆过程中强度变化(使成品浆具有最大的物理强度)和不同物理参数之间占优势的相互关系。手抄浆片的成形、层压、压榨、干燥和整饰方法登载在 TAPPI Methods T205 中。测量各种强度性能的方法登载在 TAPPI Methods T200、T205、T220、T221、T224、T225、T227、T231 中。

纸浆强度比较

评价不同化学浆相对强度的传统方法,是在特定的游离度参考值(典型值为 500 和 300CSF)下进行的。因为纸浆很少是正好在这些游离度值检测的,所以必须以各自的打浆曲线用内插法得出比较值。这项研究可能显示(例如),某个纸浆比另一纸浆有较高的撕裂度值和较低的抗张强度值;但这并不完全说明哪个强度更大些。

近几年来,撕裂度——抗张强度曲线图已成为对不同配比和工艺方法的纸浆进行比较的主要方法⁽⁴⁾。这类曲线图严格地依据强度参数,而不是滤水度行为,理由仅仅是从直觉上比较纸浆强度似乎更令人满意一些。该曲线还涵盖好几个结合力水平,因而对相关纸浆行为提供了更完整的描述(在第 4 章图 4-5 以一组撕裂度——抗张强度曲线显示强度差别,而表 4-6 则提供了在单一游离度参考值下传统的强度数据比较表)。

为了形成一个有意义的撕裂度——抗张强度曲线图,必须实行 3 或 4 个点的打浆机运行。对日常强度监控来说,这样一种劳动密集型做法也许很难被认为是合理的。但事实上,为比较使用类似配比和工艺条件生产的化学浆的强度,单点法可能已完全够了。有许多工厂使用“综合性强度参数”(一种撕裂度加抗张强度或撕裂度加耐破度的加权值)作为日常强度监控和类似纸浆之间强度的比较⁽⁴⁾。

22.4 纸张检测

具有不同功能特性的各类纸张品种,需要一个多样性的检测方法。对所有纸种来说,有些基本性能很重要(例如定量、厚度),其相关的检测也广泛使用。已经专门开发了其他方法来评价特种纸产品的使用性能,它们的用途较具局限性。

确定纸张实用性的大多数性能,都不纯粹是物理性的。因而测量结果常与所用仪器或设备以及检测程序细节有关。由于纸张具有粘弹性和吸湿性这两个特点,情况变得更为复杂。因为纸张有塑性和弹性两个品性,任何使纸样破坏或毁坏的检测方法(例如撕裂度、抗张强度),其所得结果均将与所施加作用力的速率有关。虽然大多数纸样在检测前都整定到标准的大气状况,但水分含量和物理性能将取决于先前的历史。

试样的整定

特定纸张的性能在很大程度上取决于它的水分含量。纸张作为一个吸湿材料,将与周围空气寻求一个平衡水分。这种行为可用新闻纸吸收和解吸水分的曲线表示(图 22-8)。

当需要检测结果具有再现性时,纸样必须在标准化环境中进行整定。在北美的标准条件规定为 23℃ 和 50% 相对湿度。平衡状态时,大多数适应此环境的纸张产品,水分含量在 7%

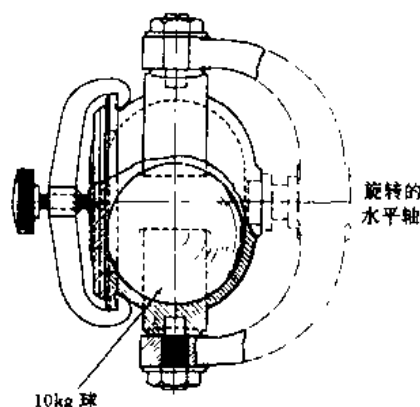


图 22-7 Lampen 磨浆机

与 9% 之间。

要概括出相对湿度对纸张性能的效应是不可能的。因为变化还取决于纤维配比、精磨程度、助剂和纸页表面处理。但如图 22-9 所示的变化是相当典型的。

不是所有纸张都是在标准状况下检测的。当纸张是以纸辊形式生产和使用时，从纸张制造直到它被使用期间，水分含量变化很小。如果印刷机的运行需要强度，它必须是从复卷机来的纸张中所固有的。因此，这样的纸产品（如新闻纸）是“在制造”的状况下检测的，而且检测试样必须与周围大气隔绝直至检测结束。

纸张的两面性

长网上制造的纸张，其纸页网面的结构相对较粗糙，而正面结构则较紧密或较细致。这种两面性的原因是纤维成分上的差别和底部表面上明显的网印。在双网纸机上抄成的纸张两面性一般很小。

网印一般由纵向对角线较长的菱形印痕图纹所组成。网印侵入纸页的程度差别很大。对总厚度为 $90\mu\text{m}$ 的新闻纸，侵入差别通常在 10 至 $30\mu\text{m}$ 之间。正面和网面的结构差异有时用肉眼都可以观察到，如果将纸张折过来直接比较两面的话。如果先将纸张短时间地浸入水或稀碱液中，然后弄干，则其差异更容易识别出来。因为这样做，松动了纤维结构并消除了压光的平滑效应。

某些物理和光学检测也许两面（正面和网面）都需要，但更经常的是只检测一面。新闻纸的表面检测一般只在结果最差的那一面进行。例如，白度在正面测定，而粗糙度则在网面测定。

对某些最终用途，必需考虑正面和网面，在只是单面印刷时，在正面印刷可获得最佳效果。如果是层压高质量纸（如光泽纸），习惯做法是将网面放在一起，以便在外侧有较光滑的表面。邮票通常是印刷在网面上，上胶在平滑度较大的正面，这有助于使上胶更为均匀。

纸张的方向性

纸张有明显的纹理 (grain)，这是由于大量纤维纵向排列以及在压榨与干燥期间强制施加应力/应变而造成。在测定物理性能时必须考虑纸张的方向性。对诸如抗张强度、撕裂度、以及耐折度等强度测定，检测用的纸条是从两个方向切出的。

为避免在解释方向性强度的检测结果时的混淆，应该记住，检测的方向性跟施加作用力的方向而不是跟破裂的方向相一致。在 Elmendorf 撕裂度检测中，施加作用力与破裂在同一方向，而在抗张强度和耐折度检测中，破裂与施加作用力成直角。抗张强度与耐折度在纵向

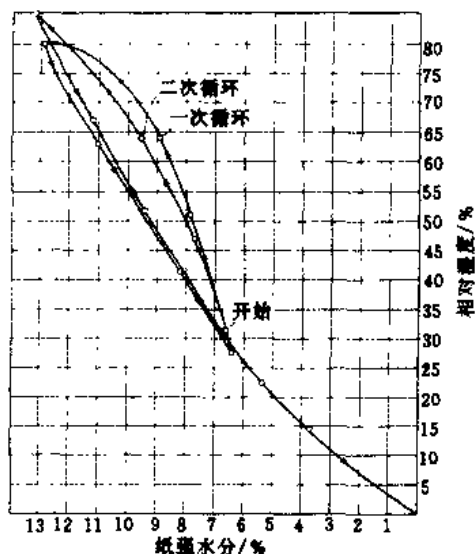


图 22-8 新闻纸的水分吸收和解吸曲线
(老版 TAPPI TIS017.06)

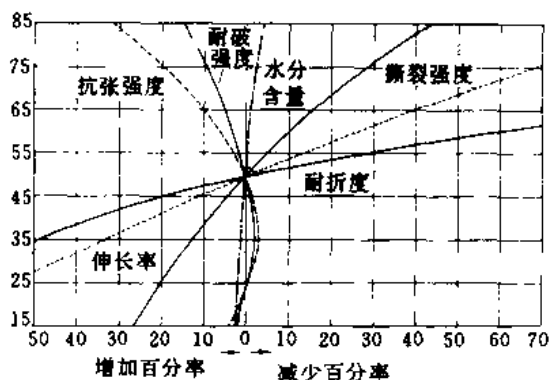


图 22-9 相对湿度对纸张性能的效应

(MD) 较大, 而撕裂度则是横向 (CD) 较大。

纸张有其不同的纵向与横向强度比。长网纸机纸的抗张强度, 纵向为横向的 1.5~2 倍。圆网纸机纸的比例可直至 5.0 倍以上。纵向与横向强度比 (特别在零距抗张强度检测上) 可解释为纤维直线排列的相对状况。

机制纸的纵向与横向强度当然是与用同一浆料配比制成的随机排列纸页的强度密切相关的。随机纸页将获得的检测值是在纵向与横向值之间的某处。通常发现强度值之间的相互关系最好用几何式表示, 即:

$$X_{\text{随机}} = \sqrt{X_{(\text{纵向})} \cdot X_{(\text{横向})}}$$

由于流浆箱压力波动和流浆箱堰板出浆的不规则状态, 在纤维配制和横向纤维排列中有相应的波动。这些波动可进一步受不均匀的脱水以及压榨与干燥期间不均一的张力的影响。因此, 纸张的纵向与横向的物理性能是不同的。为了对一定纸机更好地表示其纵向与横向比, 必须在横向的几个位置上进行纸张的取样和检测。

要鉴别纸样的纵向与横向很容易。当一小张纸样弄湿某一面时, 试样总是卷曲的, 卷曲的轴线在纵向 (由于横向膨胀更多)。当以两个方向切出窄纸条时, 将会发现某个纸条 (纵向) 要比另一个挺些。这种不同也可在两个方向用手撕时察觉出来; 纵向对手撕的阻力要小得多, 也更容易撕成较直的线条。

物理检测

对纸张的物理检测传统上分成四类:

- (1) 机械和强度性能。
- (2) 表面性能。
- (3) 光学性能。
- (4) 对流体 (如水、油、空气) 的渗透性。

这些性能的若干常用检测列于表 22-11 中。

表 22-11

纸张的物理检测

	TAPPI	CPFA	单位
物理与强度性能			
克重 (定量)	T410	D. 3	g/m ²
厚度	T411	d. 4	mm
密度	T411	d. 4	g/cm ³
松厚度 (密度的反义词)	T411	D. 4	cm ³ /g
耐折度 (MIT)	T423	D. 17	- -
撕裂因子	T470	D. 9	mN · m ² /g
耐破因子	T403	D. 8	kPa · m ² /g
抗张强度 (裂断长)	T404	D. 6	km
挺度 (Gurley)	T451		mN
伸长率	T457	D. 7	%
抗张能量吸收 (TEA)	T494	-	J/m ²
柔软度 (Gurley-Hill)	T498		s/100mL

续表

	TAPPI	CPPA	单位
表面性能			
粗糙度 (Sheffield)	T479		ml./min
结合强度 (Dennison wax)	T459	D. 11	
耐擦品质	T478	—	
抗摩擦性	T476	—	
光学性能			
亮度 (Elrepho)		E. 2	%
不透明度		—	%
光泽度	T424	—	%
色度	—	—	
流体渗透性			
施胶度	T466		
抗油性 (Vanceometer)	RC278	—	
吸水性 (Cobb 检测)	T441	F. 2	g/m ²
抗油脂性	T454	F. 6	
空气阻力	T460	D. 14	
水蒸汽渗透性	T448	D. 15	

纸张的定量是以称重已知面积的纸张而测得。厚度是利用具有特定基底面积和对纸页挤压力的测微计测得。根据测得的定量和厚度可计算出表观密度或松厚度。

抗张强度是通过测定裂断一个窄纸条（纸条长度和负载率都有严格规定）所需作用力而确定。在破裂时的伸长量可同时确定。有些新型检测仪提供应力/应变的曲线图，并计算出曲线下的面积，称之为抗张能量吸收，这是测量纸张“韧性”的一种方法。这些检测仪还提供在不同张力负荷下的蠕变测定。

测量耐破强度是利用在橡胶鼓膜上夹紧纸样，然后施加逐渐增加的压力，并记录下顶破时的压力。耐折度是使纸样在受控张力下弯曲成一个规定的角度，测量在发生破裂前承受折弯的次数。挺度是测量将纸条弯曲成一个规定的角度所需的作用力。

撕裂强度（或“内抗撕力”）通常用 Elmendorf 仪测定，它是在作用力垂直施加在纸面上时利用一个测能摆，持续撕开纸样的一个裂口；损失的能量（通过测量测能摆摆动的高度）与连续撕裂所需的作用力有关。Elmendorf 撕裂度检测被认为是纸页内纤维强度的一个很好测定方法，但将该检测作为衡量印刷间运行性能的适用性常被质疑。因为印刷厂问题常常发生在纸的表面上。可以使用进行平面内撕裂度检测的仪器，但这种方法并不广泛应用。撕裂度检测的两种主要机理示于图 22-10 中。

表面粗糙度（或平滑度）是测量穿过一个与纸张接触的金属环形筒的空气流量而得。环形筒的接触压力与环形筒内的空气压力均被仔细地控制。透气度（或气孔度）也可用相同仪器（Bendtsen 或 Sheffield）在规定压差下借测量通过已知纸张面积的空气流量而确定。

表面施胶或内部施胶的程度可从吸水性反映出来。在 Cobb 检测中，已称重的纸样被紧压

在中空短圆筒下,并在圆筒中注入水。在一定时间间隔(一般为 5min)后将水倒掉,并抹去试样上的水分重新称重。测得的吸水性以 g/m^2 表示。

纸张的白度、不透明度和色度是在适当的光波长下所得的反射率读数。白度是测量在可见光谱(特别是在 457nm 波长)的蓝色区中反射率值(相对于氧化镁标准值)。不透明度是根据背衬无反射黑色面的单纸页与同样材料的一层纸页的反射率值之间的“反差比”计算而得。表示色度的一个方法是取一组可见光波长范围内的反射率读数并形成一个光谱反射率曲线。色度也可根据从其表面反射出来的三种主要色度的每一个相对量而确定。

纸张的化学性能

纸张的化学性能根据纤维原料过去的工艺记载和非纤维性助剂的形式与数量确定。化学性能对某些诸如照相纸、复印纸、防锈纸(包装银制品和钢材用)、防伪造纸(用于防伪)、电气用纸、食品包装纸和任何需要高级使用性能的纸种是很重要的。通常,这些纸种中必须存在适当的 pH 值和(或)有必要量的酸度和碱度,而且它们必须远离有害化学品。有些纸种需要特殊的化学处理。

已经开发出许多检测方法以检查化学品处理的效能或检出化学污染物。例如,包奶油的羊皮包装纸通常要分析其铜和铁的含量;含铜超过了 $3\text{mg}/\text{kg}$ 或含铁量超过 $6\text{mg}/\text{kg}$ 被认为会有臭味。另一例子是易燃性能的检测,以保证“耐火纸”暴露于着火温度时不为火焰所毁;该性能对装饰纸有重要意义。

老化效应

所有纸产品的物理和化学性能均在某种程度上受老化的负面影响。为了比较和评价不同纸张的老化特性,已开发出一些方法以加速通常在老化期间所发生的变化。其结果不一定与经历长时间的天然老化过程相一致,但作为一个相对指标还可能是有用的。模仿老化的通用方法是将纸样放置于 105°C 的烘箱中,对白度返黄的时间周期建议为 4h(TAPPI SM-200),但也可用其他的时间周期。原始试样与经“老化”试样之间的白度损失可作为返黄测量值。

耐折度已知比其他强度参数更易受老化的影响。通常利用加热对耐折度的效应来评价“纸张的相对稳定性”。标准程序(TAPP T-453)规定在 105°C 加热 72h 的时间周期。然后整定与检测原始试样与经热处理后试样的耐折度。其值报告为“加热后耐折度的保留率”(即原值的百分数)。

22.5 自动化的纸张检测

20 世纪 80 年代,随着数字化半敞式仪表(digitized bench-top instruments)、自动化机外检测管理系统和在线工艺控制系统的来临,纸张检测进入了一个新时代。仪表和控制系统供应商的这些开发工作已使造纸工作者有能力在制造过程中监控某些纸张性能,并广泛利用准

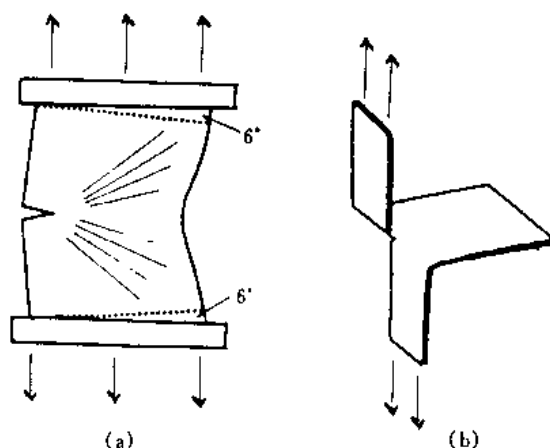


图 22-10 平面内撕裂 (a)
与 Elmendorf 撕裂 (b) 的举例

确及时的质量控制信息。

为自动化检测系统铺平道路的是结合计算机系统的数字化半敞式仪表的开发,它可自动地核查仪表校准工作、记录检测值、完成计算工作以及计算统计数字。最新的进展还包括与耐破度和抗张强度检测相联系的机器人的使用。

在线检测

定量、水分含量和厚度的在线(或机上)监控系统已获普遍接受(参见 17.3 节)。可靠的传感器也已用于测定白度、色度、光泽度、不透明度、平滑度、灰分含量、涂布量和匀度。在线传感器现在同样应用于非破坏性的性能测量(基于声速的弹性挺度),据此可推导出许多纸页强度参数。

虽然某些业内人士已预测在线系统最终取代造纸厂的机外检测,但这种情况似乎未必会发生。对机外检测的需要肯定将随着在线系统可靠性的提高而下降,但对于研究工作和确认在线传感器方面,若干机外检测将总是需要的。纸张也将继续按性能说明书出售,而这又必须得到标准化检测方法的确认。

机外检测

利用电子仪器和无人操纵系统的许多全自动检测系统现已应用于造纸工业,许多造纸厂已承诺要转换到这种技术。也许主要的原因是这样做可以取消一台或多台连续 24h 不停的检测装置而节省劳动力。另外,全自动检测系统还可以增加检测频率的潜在能力、扩大检测范围以及更迅速地以控制图表形式将数据反馈到操作地点。

虽然在所使用的系统和样机中效能不同,图 22-11 所示的系统是有代表性的。纸张或纸条在一端送入,以键盘穿孔规定检测的次数与组合,几分钟后,可用的检测信息或显示在屏幕上,打印出来,或以图表显示。

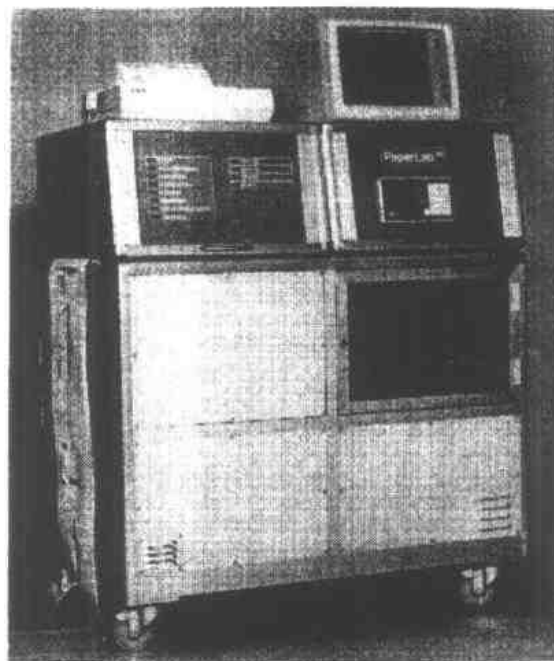


图 22-11 Kajaani 公司的纸张实验室自动检测系统

参 考 文 献

- (1) CUTSHALL, K. A. The Art of Obtaining a Representative Paper Pulp Slurry Sample *Appita* 21: 4: 21 (January 1968)
- (2) TAPPI Standard Method T-261
- (3) MACLEOD, J. M. Comparing Pulp Strengths *P & P Canada* 81: 12: T363 (December 1980)
- (4) SMOOK, G. A. Combined Pulp Strength Parameter Has Many Uses, Some Limitations *Pulp & Paper* (September 1985)

第 23 章 纸张最终应用简介

离开纸机后，许多纸和纸板产品在到达印刷厂或用户以前还要经过整饰和加工作业。整饰（或称完成）包括很多道准备产品外运的工序，例如复卷、纵切、裁纸、选纸、计数、打包、堆垛和包装。这些工序中有些可称作包装作业。

广义上说，加工作业包括所有那些改变规格、形状、表面性能或纸产品性能的再制造工序。显然，整饰与加工作业是有重叠的。在北美，整饰常代表所有在纸厂范围内纸机后面所进行的作业；而加工则是用户所进行的再制造作业（除印刷外）。利用纸或纸板制成纸袋、信封、信笺、纸盒和纸巾产品的设备，总的都称为加工设备。包装工业是纸和纸板产品最大容量的用户和加工者。

23.1 平板纸整饰

在纸辊被分切成平板纸处，其邻近区域还要进行不少的后续作业。为尽量减少拥挤，避免成品过多搬运以及减少因故障造成的损失，适当布置设备是很重要的。下列工序是共性的：

- 消除卷曲。
- 将纸幅纵切成正确的宽度。
- 用回转刀将纸幅长条裁切成平板纸。
- 切去纸边。
- 检查和拣选平板纸。
- 按“令”包装平板纸。
- 按盒包装平板纸。
- 用夹板压紧平板纸。

其他不是共性的工序为：

- 整定纸幅以平均水分含量。
- 压花。

回转式切平板纸

目前平板切纸机有三种主要规格：

- 小裁纸规格（cut size）：主要是 $8\frac{1}{2}\text{in}$ （216mm）乘 11in 或 14in（280 或 355mm）
- 对开纸规格（folio size）：11in×17in（280mm×432mm）直至 38in×50in（960mm×1270mm）
- 大尺寸规格（senior size）：任何大于对开纸的规格

在新型完成车间，这些规格范围的每一种都在专门的平板切纸机上进行裁切，以便保持最高效率与适应质量标准。每类切纸机的特点是生产方式都有所不同。

今天，完成纵切与横切的平板切纸机都是在—台机上进行。要被切成平板的纸辊放置在能容纳 1 个至 12 个纸辊的退纸架上。纸辊的实际数量部分取决于质量要求和纸幅控制的相对难度。纸幅从退纸架出来，经过纵切机并上到横切机切成平板，横切机一般是利用对着一个固定底刀的回转刀。平板纸的长度由回转刀的速度决定。

单张和双张结构的平板切纸机简图示于图 23-1 和 23-2。在双张切纸装置中,纵切纸幅被分离,每个纸条移送到一个独立操纵的横切刀。裁切后平板纸在运输带上输送到码纸台,将平板纸摞成整齐一致的纸堆。所有码纸台都配有计数器,以便在每积累至一定数量的平板纸后可插入一个标签。在若干新型码纸台上,可自动插入标签。带人工检查台的全套单张切纸机的较详细示意图示于图 23-3。

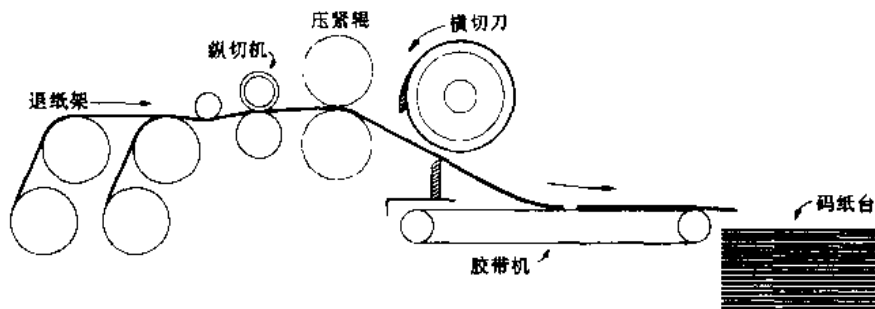


图 23-1 单张切纸机简图

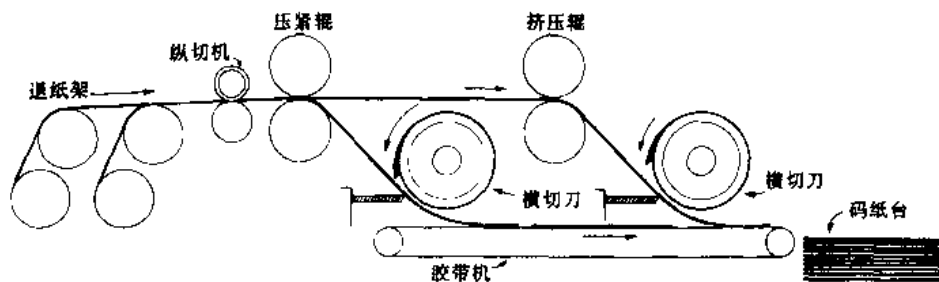


图 23-2 双张切纸机简图

纵切纸幅的一个面下落到第一刀上,而另一面则被带到第二刀。
两个横切刀有单独的调速装置,可生产出两张不同长度的平板纸

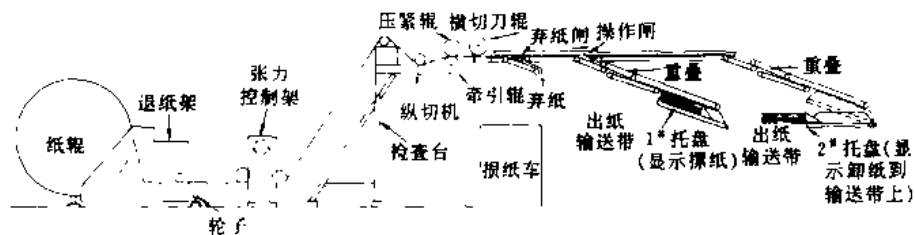


图 23-3 包括检查台和处理不合格弃纸的小裁纸切纸机

切纸边

在规格尺寸或边缘外观要求严格时,纸张在横切后要精确地切去纸边。这项措施可获得一个整齐的带洁净边缘的方形纸堆。这项作业在切边机(常称闸刀式切纸机)上进行。将切纸边的纸堆用移动式侧制动与可调式后制动使成直角放置。然后降下压力板以防止滑动,用闸刀将某个纸边切去。

依次切去纸堆的各个纸边。多数新型切纸边机都配有后制动位置的自动重设定装置,从而为每个切边纸堆提供准确的规格并免除人工重新设定所需的时间。气垫装置使纸堆能够容

易地在台上移动；多个高压空气射流借台面上纸的重量打开微型球阀而起作用。

平板纸的精确裁切

目前工业上趋向于精确裁切平板纸，即从切纸机来的纸直接就运走，免除了切纸边工序。精确裁切要求有非常精密的设备，不仅要满足规格误差的严格限制，而且还要堆叠好平板纸并以令和（或）夹板形式打包外运。特别是大规格裁切平板纸必须控制好，且注意每一厘米都始终要堆叠得很好⁽¹⁾。精确切平板纸设备比较贵，一般只有在产量很大时才是合算的。

消除卷曲

印刷工要求印刷机上运行平直的纸张。靠近纸辊芯的纸因不易展开，在切平板时往往有麻烦。这种状况如不加改正可因纸页过分卷曲而造成高达2%的废纸损失。最简单的消除卷曲的设计是利用一个平直的“舒展棒（breaker bar）”，纸页在其上面成锐角运行（逆着卷曲的方向）。在有些生产作业中，改用“圆棒”以防止损坏涂布表面。当处理易于擦伤或压印的高定量纸页或材料时最好用小直径自由回转的舒展辊（breaker roll）。

检查和拣选

高级印刷用的平板纸传统上都是人工进行检查和拣选，将纸张分类成合格品、等外品和废品。现在，纸机上诸如定量、水分、厚度、色度和匀度等性能的自动控制，已在很大程度上排除了以后还要进行检查和拣选的必要性。有些工厂只是在原始大纸卷显示，根据对纸卷试样自动监控或人工测量所得变数超过规格性能的容许界限时才进行平板纸检查。示于图23-4的光学纸病探测器系统可用于若干自动剔除有缺陷平板纸的切纸机上。

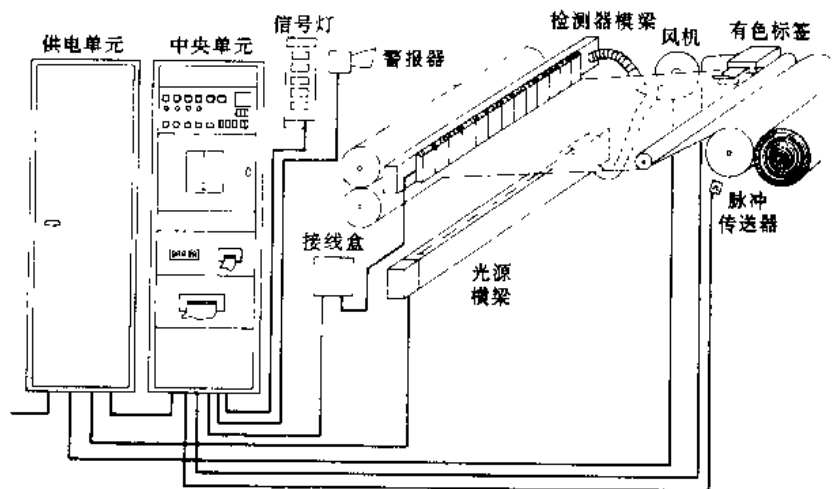


图 23-4 典型的检测器系统 (Sentrol)

平板纸打包

由于单张平板纸的脆弱性和纸堆大小的多变性，平板纸打包是一个专门的工艺过程。较小规格的平板纸通常以单令纸堆形式从切纸边机（或从精确切纸机）直接运送到自动包纸机，包上防潮包装纸，并贴上标签。然后装入标准纸盒中。图23-5示出一条基本的小裁纸生产线。

较大规格的平板纸需要更多的人工照看。有时它们以67.5kg (150lb)左右装入纸盒中单独外运。目前较常见的是将平板纸或平板纸包放在平板架（pallet）或夹板上。夹板在结构上更坚固些，优点是有些用户可将其直接置放于印刷机的入口端。

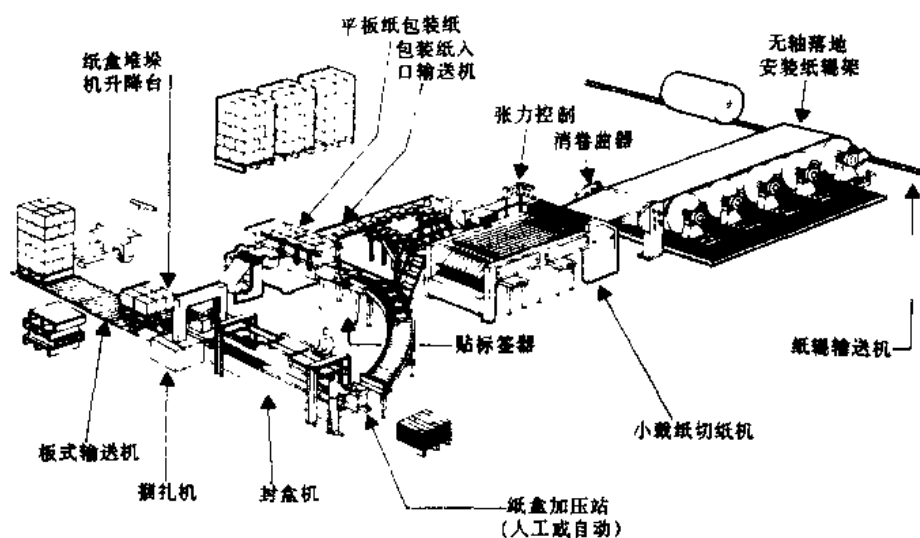


图 23-5 小裁纸基本生产线

调湿

调湿是对高级印刷纸进行处理，以确保平整度和良好的色度记录。这项技术在欧洲很常用，但在北美却没有见到，估计是由于增加了生产成本。其主要原理是增加卷筒纸的水分以便在切成平板前有稍许膨胀。这样，只要平板纸存放在正常大气中，它们就不会胀大或收缩，并将消除引起卷曲或皱纹的内应力。

一个有代表性的调湿系统示于图 23-6。纸张在其通过依次排列的圆筒时受到湿空气的高速冲击。纸页中最干燥部分优先从冲击空气中吸收水分，总的使纸幅有较高和较均一的水分含量，且实际上无静电荷。另一种调湿装置设计借喷洒细雾水以增加水分。

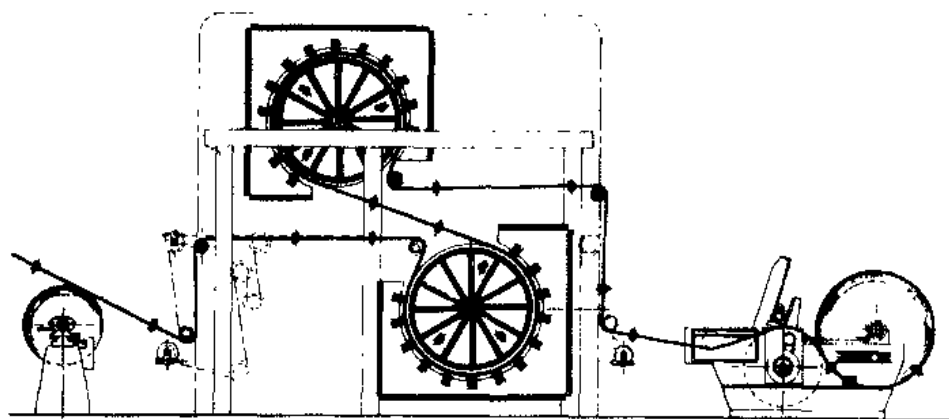


图 23-6 纸张调湿装置的操作简图 (Swenson)

压花

压花是在纸上压印凸凹图文的技术。它用于在纸张整饰期间为商业和印刷用纸提供（作为水印的替换物）特种整饰或识别标志。进行此项作业是使纸张在刻有图文的钢辊（或钢板）与另一软性或可压缩性材料（如纸或棉花）的辊或板之间通过。

压印广泛应用于具装饰性效果的加工作业中，如餐巾纸、彩色包装纸和壁纸的生产。

23.2 加工

据粗略估计，北美的纸和纸板产量的 75% 左右在到达最终消费者以前都经受过某种形式的加工作业。确切的百分比取决于加工的定义，但目前还没有其包含范围可为工业所普遍接受的准确原则。新闻纸、书籍和杂志的印刷一般都不认为是加工；但有许多加工工厂却将印刷作为加工工艺过程的一个阶段。

若干常见的加工作业按类别列于表 23-1 中。这些作业大多数是在独立的厂址中进行的。但与逐渐增加工厂综合性相一致，在不少纸和纸板厂已建立了自己的加工作业，特别是大生产量或高利润的项目。瓦楞箱厂使用了最大数量的纸和纸板，而其他类纸箱和容器厂总起来利用了第二位最大数量的纸和纸板。所有列示在表 23-1 中的各类，估计都有相当产量。其他的加工作业，分别来说产量都不多，但总起来每年也有数百万吨之多。

表 23-1

主要的加工作业

纸箱	瓦楞纸箱	薄型纸	— 厕纸和面巾纸
	— 折叠纸箱		— 毛巾纸
	— 硬质纸箱		— 餐巾纸
纸袋	食品杂货袋与其他各种纸袋	包装纸	— 一层纸包装纸
	— 多层纸袋		— 装饰用包装纸
建筑纸板	— 多层纸板	商业用纸	— 信封
	— 浸渍或浸渍纸板		— 商业表格
容器	卫生食品容器		— 数据处理表格
	— 纸罐头		— 标签
	— 纸筒		— 文件夹

在这本概括性的教科书中要想过多介绍加工工业是做不到的。但某些专门的工艺方法是许多加工工业所共有的，其中有些将在这里讨论。这些加工方法一般根据纸张是以卷筒形式（称为“湿加工”）还是以制成实际产品（称为“干加工”）进行处理而分类的。主要的工艺过程列于表 23-2 中。

表 23-2

加工方法中的主要工艺操作

湿加工	— 涂布	干加工	制袋
	— 层压		— 制箱
	— 起瓦楞		— 制信封
	— 浸渍		— 裁切和折叠
	— 压花		— 热压
	— 浸起皱		— 冲切
			— 复卷

功能性涂布

加工过程中的涂布作业基本上类似于在纸机进行的机内和机外颜料涂布作业（见 18.2 节）。用功能性非水溶液涂料的总目的是防水、水汽、空气或油脂。典型的涂布材料有石蜡、

沥青、清漆、凡立水树脂和粘结剂。

用于施加功能性涂料的设备有很多种,其中有些跟用于施加胶料和涂料的设备相类似。挤压式涂布机(列示于图 23-7)主要用于聚乙烯塑胶涂料,在纸厂中没有类似设备。在这里,加热的树脂通过一个缝,以热粘膜形式挤出,在一对辊子之间与纸张结合在一起。这个结合过程进行得非常迅速,从而在塑料薄膜与纸张之间形成永久性结合。

称为热熔性涂料的一类功能涂料,近年来已获广泛接受。这类涂料包括聚烯烃与似蜡材料的混合物,它在低稠度下有卓越的隔离性能。对传统的涂布设备而言,热熔性涂料一般太粘,但对挤压类涂布机而言还不算粘。因此已开发了特殊设备,诸如示于图 23-8 的幕帘式涂布机。在这里热涂料泵入料槽,从料槽缝以降膜或幕帘形式垂直落下。纸页在高速下通过幕帘,涂料直接停留在表面上,冷却后固化。

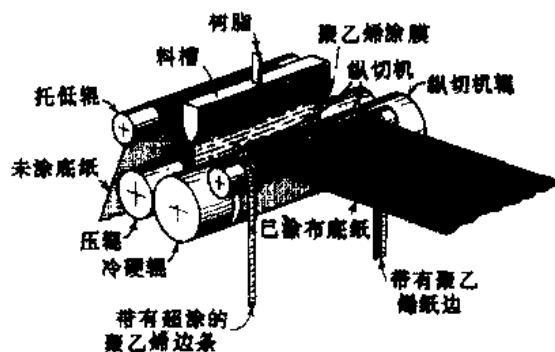


图 23-7 聚乙烯挤压式涂布机

层压

层压是指将两个或多个薄片熔合成复合产品的任何工艺过程。进行该作业多数常为增加复合产品的厚度、强度和刚度。它也用以生产两面有不同性能的纸张或生产特种防护纸。在生产特种防护纸时层压媒介一般为兼作胶粘剂和防护材料的沥青。

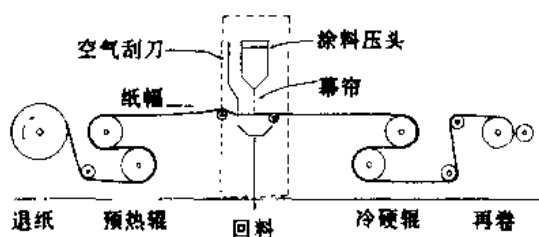


图 23-8 幕帘式涂布机简图

在典型的层压作业中,用常规辊式涂布机将胶粘剂施加到纸幅上。纸幅然后在低负荷压榨区上复合,如果必要,再经过传统的烘缸。复合产品收卷成卷筒形式往往嫌过于挺硬,必须直接将其切成平板。所用胶粘剂一般为淀粉水溶液、植物蛋白或合成树脂。

瓦楞纸板

凭其自身特点,瓦楞箱纸板的制造和利用是一门重要的工业。由于相对廉价和高强度的特性,瓦楞纸板已成为制造纸箱和货运容器的首选结构材料。

瓦楞纸板可制成多种结构形式,如图 23-9 所示。最简单的形式称为单面结构,是用于包装脆弱物品而不是制造货运容器的。双面结构是最常见的结构形式,将瓦楞芯层夹在两个面层之间。术语内层和外层是指在货运容器上的方位。有时外层表面使用较好质量的挂面。

双壁和三壁结构提供更坚韧与更挺硬的瓦楞纸板。为了优化某些性能,在这些基本结构内又可将不少变数加以改变,包括面层和芯层的定量,以及波纹的结构。有四种波纹形状(A-波纹、B-波纹、C-波纹、D-波纹),每个都有不同的波纹厚度与每厘米长波纹数。

双面瓦楞纸板是在一个包含多道工序的生产作业中全部制成的,简图如 23-10 所示。经预热和沾湿的芯层纸通过一个波纹成形器,然后立即在其波纹的端部吸取胶粘剂,再与面层纸接触而形成平面结构。该复合纸幅积聚成“桥”形以便允许重新领纸或换辊而不致使全部生产中断。在单面纸幅上外露的波纹端部然后与第二个上胶辊接触,并立即与双面结构用的而层纸结合在一起,双面结构继续经过加热区使其粘结牢固,最后冷却并切断成瓦楞箱纸板。单

面机的生产运行情况可见图 23-11。

虽然瓦楞纸板是有传统标准的成熟工业，但仍在进行许多研究工作以改进现有工艺和开发新的产品。文献资料表明，该行业目前正致力于改进瓦楞纸板机上瓦楞芯与面层之间的结合力⁽²⁾。用聚合物浸渍复合制品是获得高强度和(或)低定量瓦楞纸板的一个极有希望的途径⁽³⁾，但这项研究又与现有的废纸回收战略有矛盾。

浸渍

浸渍(或浸润)可用于许多种产品，包括装饰性层压纸、垫圈纸、油纸和油毡纸。槽法施胶有时被认为是一种浸渍工艺(见 18.1 节)。

典型的浸渍工艺是，纸张退纸并经过一个或多个盛有溶液或熔融液的盘子；然后用任何认为

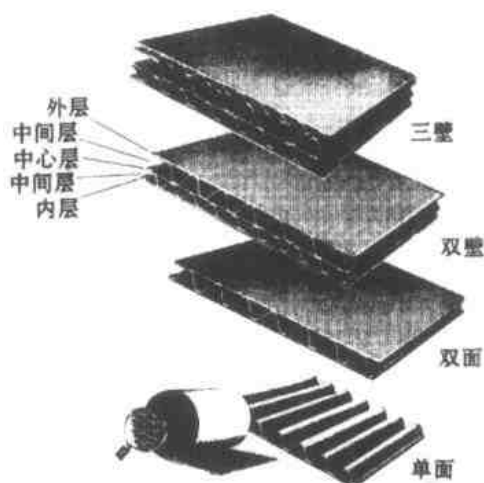


图 23-9 瓦楞纸板的结构形式

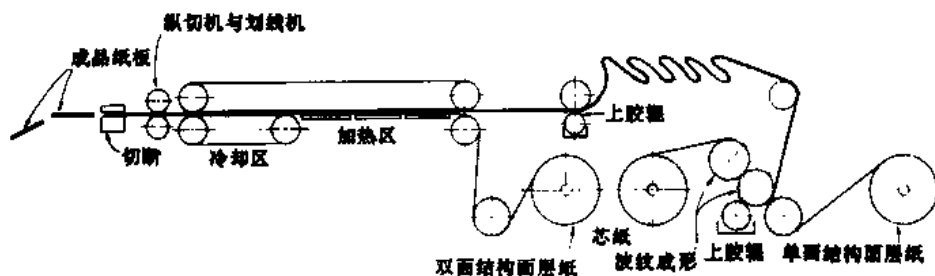


图 23-10 双面瓦楞纸板制造简图

合适的方法干燥或冷却。浸渍后的纸页或者再卷成卷，或者如制品太硬或太脆弱则切成平板。

干加工

进行制袋、制箱和制造信封等作业，都是利用高度机械化的设备以完成裁切、纵切、成形、折叠和上胶等步骤。

很多纸产品诸如厕纸、涂蜡纸和计算机纸，最终都是以卷筒形式使用的。由于生产量很大，已开发出了复杂的高速度、大容量运行的自动复卷机。卷筒纸包装箱也都实现了机械化。

很多类保洁产品都是以折叠形式使用的，例如餐巾纸和面巾纸。根据产品情况可有两种加工方法。一种是单张或多张纸幅分别以回转刀切断，然后折叠起来。第二种方法是大量的纸幅首先折叠，然后集中在一起，将整叠纸切成包装长度。

23.3 印刷

在现代应用中，印刷这一术语可适用于生产多种再制品的任何工艺过程。但这里的讨论将只局限于主要的直接或接触性的印刷法，即利用印刷机的铅板或图像载体生产出再制品；这些方法仍占有商业印刷的 90% 以上份额。当然这不是贬低诸如静电和电敏复印、热敏印刷、喷墨印刷和激光印刷等非接触性印刷不断增长的重要性。

很高比例的纸和纸板，其最终产品都是经过印刷的，印刷工业是纸产品最集中的消费者。印刷工业本身就是一个巨大的行业，美国在 1990 年的销售额估计超过 1000 亿美元。

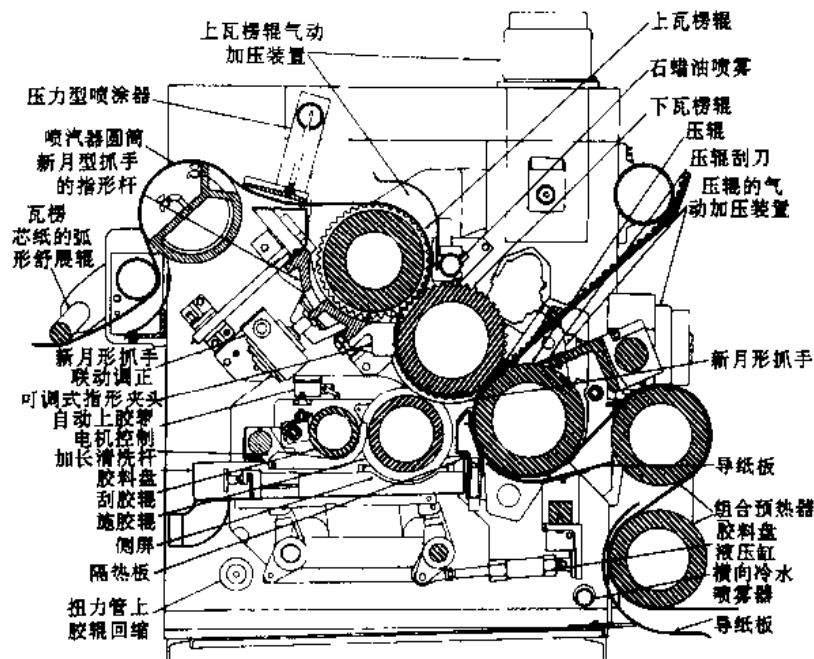


图 23-11 单面机的生产运行

造纸工作者为了生产出适合于印刷的纸张，必须了解和懂得印刷工作者的要求。基本上有两种重要因素是必需考虑的即运行性能和印刷性能。运行性能是纸页顺利通过印刷机而不断头的能力。运行性能不良的纸页将会产生故障或必须减慢印刷机速度，这就会对印刷的经济效益有负面影响。对运行性能来说较重要的纸张性能是强度、均一性和没有纸病。从运行性能观点来看也很重要的，是送来印刷厂的卷筒纸或平板纸的力学状态。

印刷性能是纸张对准确再现印刷图像的效应。诸如白度、不透明度、色度、光泽度、平滑度、透气度和施胶度等纸张性能一般都是很重要的。但其需要程度随所用印刷工艺而有不同。通常涂布纸由于改进了平滑度、白度和光泽度，比非涂布纸有更好的外观。

印刷性能在网版印刷（half-tone print）的“再现”中特别重要。在该印刷中通过将原来的连续网格（tone）改变为不同规格的不连续圆点（即大的在画面阴暗处连接良好的圆点以及小的在画面明亮处的分散性圆点），有可能再现原来网格。通常圆点的图文愈细，愈能欺骗眼睛看作是连续的，而且显得愈加清晰。

印刷工艺

如图 23-12 所示，有三种基本方式用作直接或接触性印刷：

- 从高起的表面（凸面式）。
- 从平坦的表面（平面式）。
- 从凹隔的区域（凹面式）。

根据这些位形而衍生的四种主要印刷方法是多数印刷作业的基础，即：

- 凸面式：凸版印刷和柔版印刷，
- 平面式：胶版印刷。
- 凹面式：凹版印刷。

最早的印刷形式（例如 Gutenberg 印刷机）体现了硬凸面型的凸版印刷原理。凸版印刷

保持主要印刷方式的地位直到 20 世纪 60 年代前期, 主要由于凸版印刷质量较差, 才开始被其他方法所取代。目前有 90% 以上的报纸都是用胶版印刷和柔版印刷法, 而凹版印刷在高质量杂志、报纸增刊和广告插页的应用上日渐增加。

凸版印刷

在凸版印刷工艺中, 硬凸面涂上油墨, 带油墨的图像在重压下转移到纸上。油墨 (主要含 8%~12% 的分散于油料中的炭黑) 完全压入纸张中。报纸和大多数商业性印刷, 凸版印刷的印版传统上由熔融铅金属制成。20 世纪 60 年代后期照相聚酯版 (Photopolymer) 或微凸版 (Shallow-relief plates) 开始取代铅版, 而到 1980 年, 铅版实际上已从应用领域消失了。

虽然小型印刷厂仍在用平板纸印刷机。但大多数报纸、电话簿、和广告插页都是用整幅进纸的回转式印刷机。回转式印刷设备有不同型式, 但总的都是在印版圆筒 (即卷绕着印版的圆筒) 与胶面印压圆筒之间的印刷压区实现图像转移的 (图 23-13)。新闻纸印刷机一般都是用两对圆筒组合起来 (即“双面型”布置) 快速连续地印刷在纸张的两面, 一般纸幅的每面为 8 或 16 页。典型的双面布置示于图 23-14。

凸版印刷质量上的严重缺点跟凸出面压力引起的“挤压”与“压花”效应有关。在凸出面上的油墨不能立即被纸张吸收, 有些油墨在高压区周围渗漏开来。与此同时, 纸张被压缩且保留了若干变形。另一个是与可能被用作网版再现的圆点图文的细度有关的局限性。精细的图文要求浅凸版, 而浅凸版又很容易糊版。

金属版有很严重的常规缺陷。改用浅凸版的照相聚酯版, 由于必须减少印刷压力以避免光学聚酯层的变形, 通常使总印刷质量与擦拭问题变得更加严重。

胶版印刷 (Lithography)

胶版印刷工艺是基于油与水不相混合的原理。用于光学显像印刷版制备中的材料与处置方法, 呈现出印刷图像区域接受油性的油墨而排斥水, 无图像区域则接受水而排斥油墨。在整幅进纸式印刷机上, 卷绕的印刷版附装在印版圆筒上; 在旋转时它依次与施加水溶液和油墨的滚筒相接触。水溶液湿润非印刷区域, 阻止图像区域以外吸附油墨。

大多数胶版印刷使用一个覆盖橡胶板的中间圆筒, 它将图像从印刷版转移到纸页上, 如图 23-13 所示。这称为“转移”原理, 转移 (offset) 这一术语有时看作是胶版印刷的同义语。但必须强调指出, 凸版和凹版印刷有时也用转移法, 而且不是所有的胶版印刷都用转移法的。

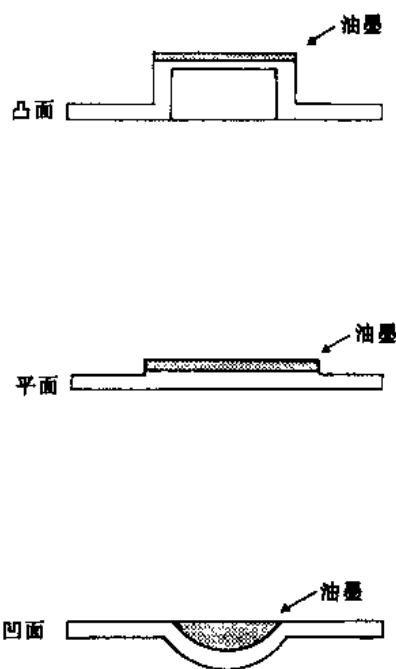


图 23-12 印刷方式

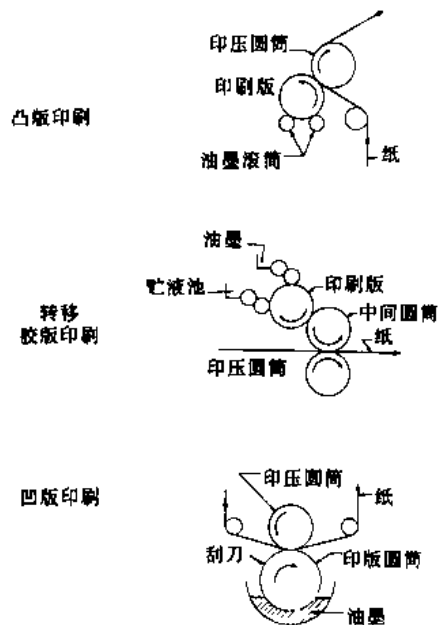


图 23-13 印刷偶的结构

多数在印刷机上进行的纸幅转移印刷是用两个相互对立的印刷装置，以便同时进行两面印刷。如图 23-14 所示。

转移法有很多优点包括较长的印刷版寿命和较好的印刷质量。带弹性的橡胶板可适应纸面的不平整性，以便有可能在十分粗糙的纸面上获得良好的印刷效果。转移法原理也可制备“正图像”的印刷版。非转移法则要求印刷版是带“负”的或反的图像。

用于胶版印刷的粘性油墨是“发粘的”，当纸张从印刷版上剥落下来时它们对纸张表面产生一个明显的曳拉力。因而，用于转移印刷的纸张应该不易“掉毛”。并有良好的表面强度性能。积聚在印版上的纤维可能是个很大问题，积聚物将降低印刷质量且可能要求印刷机定期停机以清洗印版。

凹版印刷

在凹版印刷中图像载体为铜版圆筒，上面蚀刻或雕刻出显微小凹坑 (microscopic cells) 型图像。圆筒或印版浸没于流动性很好的油墨中并刮去多余的油墨，然后其小室中的油墨在与橡胶面印压圆筒组成的印刷压区中转移到纸上，如图 23-13 所示。

大多数凹版印刷都是在整幅进纸的回转式印刷机上进行的，该工艺通称轮转印刷。凹版印刷提供卓越的印刷质量，但由于较高的制版成本和较长的准备工作时间，这种方法限于生产周期较长的大批量生产中。一旦印刷机开动起来，它是很容易控制掌握的。如果用铬版的凹版，圆筒可运行数百万印。

凹版印刷一般要求特别光滑的纸张以便使纸面能均一地与驻留在凹坑中的液体油墨接触。在操作稍微粗糙的纸张时，可利用静电技术，即将电压作用到纸幅上，以便在油墨凹坑中造成扰动的液面，使油墨鼓胀起来与纸幅相接触。

柔版印刷 (Flexography)

柔版印刷是凸版印刷的特种形式，其特征是高度流动性的水性油墨、特别设计的聚酯印刷版以及印刷压区中较轻的压力。该工艺原为用于包装材料而研制的，但也适合于其他用途，著名的如用作现有凸版印刷的报纸印刷机的改造。柔版印刷的成功关键是使用 anilox 辊（一种特制的含凹形小坑的蚀刻或雕刻辊）。anilox 辊从油墨槽或施墨辊吸取油墨，用刮刀除去多余油墨。将均一的油膜转移到聚酯版的印刷表面，如图示 23-15 所示。

柔版印刷的印刷质量介于凸版印刷和胶版印刷之间，它比起凸版印刷来还有另外的优点，比如较低的摩擦掉墨性 (rub-off) 与透印性、和对脱墨工艺的较好适应性。柔版印刷工艺正在逐渐发展，并有望跟胶版印刷法在报纸印刷的改造与升级上一决雌雄⁽⁴⁾。

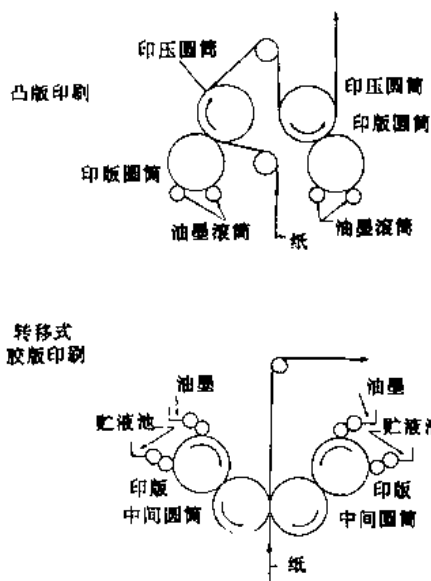


图 23-14 凸版与胶版印刷的双面印刷机配置

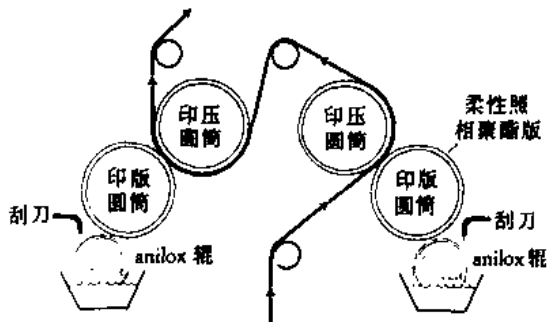


图 23-15 双面印刷的柔版印刷机结构

其他印刷工艺

示于图 23-16 的双胶版印刷 (di-litho) 工艺是 20 世纪 70 年代专为改造报纸凸版印刷而研制的。双胶版印刷是改进型胶版印刷工艺, 它是直接从印版印到纸上的。尽管其印刷质量显然比转移胶印差, 但许多报纸直到柔版与转移胶印的优点已变得很明显时才将双胶版印刷淘汰掉的。

在丝网印刷 (Screen printing) 中, 油墨是通过一个精细的丝网施加到网下纸张上的。与其他工艺比较, 油墨用量较大。丝网印刷常用手工以产生艺术效应。商业性丝网印刷速度很慢, 只保留用于艺术印品、广告画、祝贺卡、菜单和壁纸等印刷。

1970 年, 推出了印刷时不需用水的胶版印刷印版。称为 Driography 的这种系统由于其印刷区一直有色调不稳定的问题, 几年以后就从市场上消失了。目前一家日本公司经稍加改进, 又更新了这项工艺。Driography 在简化低耗损高质量印刷品的生产上具有很大的潜力。

制版

所有新型印刷都是照相以形成所需的负或正图像。然后将该图像暴露在涂复有光敏材料的印刷版上。印版接着以特定工艺用所需混合化学品处理。

在加工处理中所用的网版图像通过“筛网”摄影获得, 筛网将相片或图片的连续网格分离成不连续的规格不一的圆点。色调的深浅程度可从图 23-17 所示的方法表示。

彩色的网版图像通过三个单独的滤色板摄影获得。每个板相当于某个外加的基色。彩印是在印刷机上通过三个重叠颜色中依次印刷而再现的 (一般是“相减基色”而不是“外加基色”)。三色印刷制版的步骤示于图 23-18。为获得最佳质量的彩印, 三色再补充黑色以增加再制品的浓度、清晰度和对比度。在彩色网版的制备中。网纹筛 (halftone screen) 对每个颜色都要旋转成不同角度以防止在印品中圆点联在一起 (见图 23-19)。

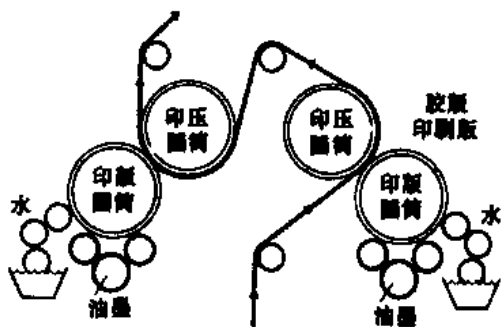


图 23-16 双面印刷的双胶版印刷结构

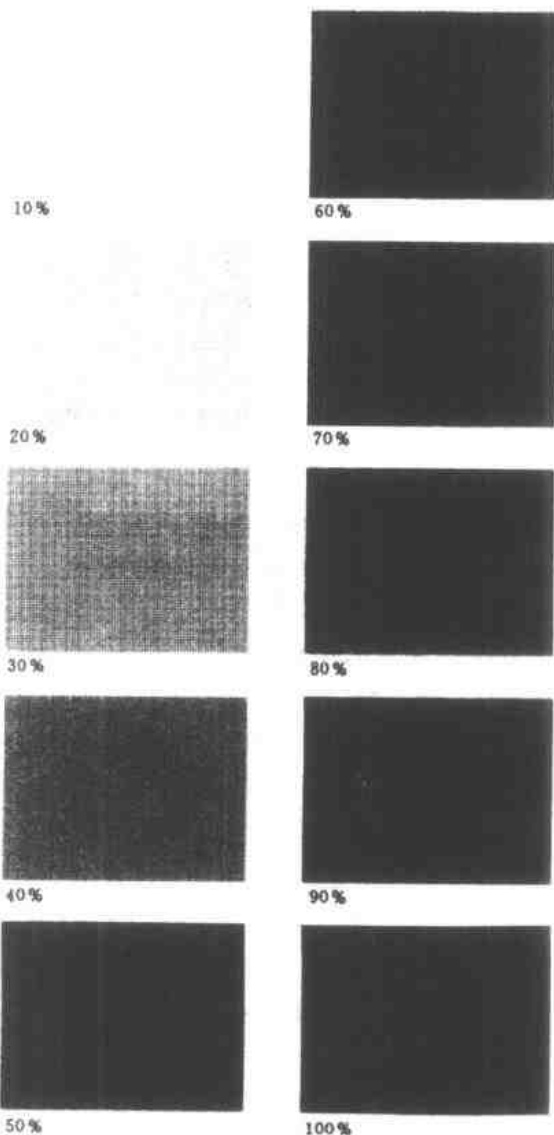


图 23-17 色调的深浅程度由同一圆点模式但用不同规格圆点模拟表示

印刷机运行

根据所生产的产品，一个新型高速轮转印刷机的运行，除获得良好的印刷质量外，还包括不少目标和事项：

- 退纸架的张力控制。
- 新卷筒上到老卷筒尾部的自动接头（即连续纸幅粘接）。
- 印刷偶之间的张力控制。
- 记录器的控制。
- 油墨的干燥。
- 纵切、裁切、集中、折叠、堆垛等。

通常，为了充分控制好较长的印刷机，要求有较高的张力控制。如果印刷机操作人员认为某个来源的纸张有较好的运行性能，他（她）一般将把该纸优先用于运行困难最多的

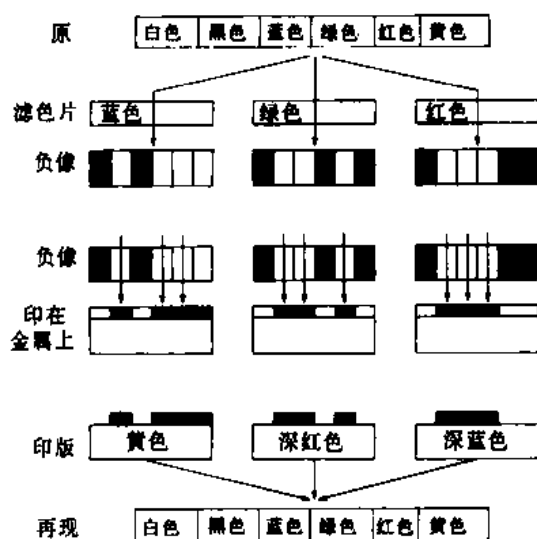


图 23-18 制备彩色印版的步骤

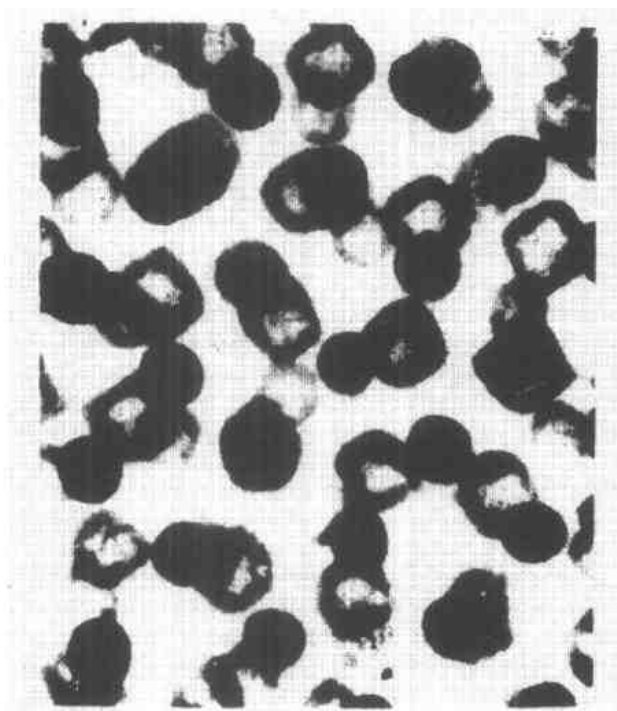


图 23-19 在四色印刷图像中圆点成形的清晰度显示出不同的圆点排列

印刷机上。如果印刷厂要保持不同纸辊供应商的运行统计数字，必须考虑这个因素。发生断头通常是由于纸张缺陷加上较低的纸张强度或较高的纸幅张力。如果可找到断纸的“纸头”，一般可以在断纸点发现纸张缺陷，通常是长条或纤维束（参见 20.1 节）。

参 考 文 献

- (1) GREINER, T. S. **Sheet Finishing Overview; Batancing Costs and Quality** *Pulp & Paper* (October 1986)
- (2) INOUE, M. AND LEPOUTRE, P. **Bond Setting in the Corrugating Operation** *Tappi Journal* (December 1989)
- (3) MILTZ, J., SEGAL, Y. AND ATAD, S. **The Effect of Polymeric Impregnation on the Properties of Paper and Corrugated Board** *Tappi Journal* (July 1989)
- (4) SNIDER, E. H. AND THOMPSON, C. A. **Printing and Paper of the 21st Century** *P & P Canada* 88: 12: T447 (December, 1987)

第 24 章 生产过程控制

如果工厂的生产是为了在原材料、人工和能源有效利用的基础上,获取均一而高质量的产品,就必须最大限度地减少所有生产过程显示的内在易变性。生产过程控制的目的是使生产过程和每个生产工序保持在明确清晰的变化限度之内。

图 24-1 列示出生产过程变数的时间分布图,除某段时间失控外,其他控制都是满意的。在人工控制的生产过程中,操作者监视数据点的走向,及时进行调整,以使生产过程保持在规定的限度之内。但有时由于生产的稳定性、数据点的准确性以及规定限度的狭窄性等原因,操作者也许只能在变数已逸出规定限度以外时,才采取补救措施。

在制浆造纸厂内,只有极少数的生产过程或“单元”过程现在仍用人工控制。绝大多数的生产工序都已利用数据或模拟装置进行自动控制。计算机已愈来愈多地用在整个制造程序的协调控制和记录存贮方面。

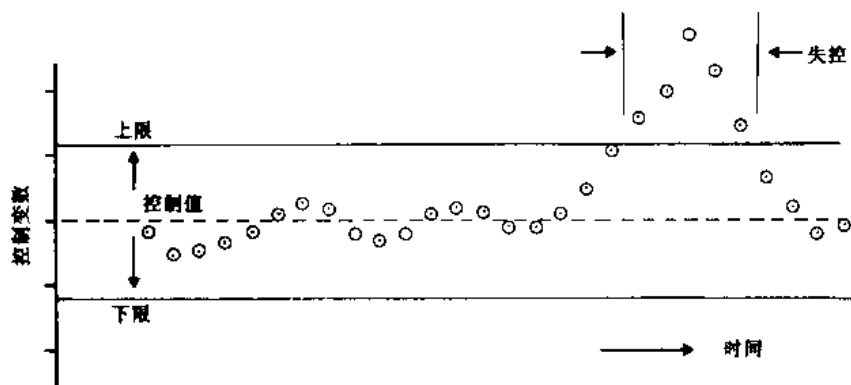


图 24-1 例示正常生产与不正常生产（失控）的控制变数的时间分布

24.1 测量和控制

一个典型的控制回路包括三个基本部分:探测器(带变送器)、控制器和控制单元。这些部分的相互关系简要地示于图 24-2 中。

常用于所有制浆造纸生产的控制回路例子,示于图 24.3。在这里,探测器测量浆管中的浓度并发送出一个适当的信号到控制器;控制器对输入信号与设定值进行比较并将误差信号发送到稀释水阀;于是稀释水阀开度就朝纠错方向调节。

也许在所有生产企业中最常用的控制是,利用蒸汽阀作为控制元件进行温度调节。其他常用的有利用流量控制阀的流量控制和槽液位控制以及利用放压阀的气体压力控制。

传感器

传感器是任何控制回路的心脏。没有可靠的有关变化状况的指示,无法真正实行自动化,制浆造纸企业内的某些生产作业,只是在最近由于新测量技术的采用才变得适宜于用自动控制。有些控制策略仍然必须有赖于将人工测试结果输入进控制系统中。

一般说,只有少数几个变数可直接用过程仪表进行测定,而大多都需依赖于相关性性能的

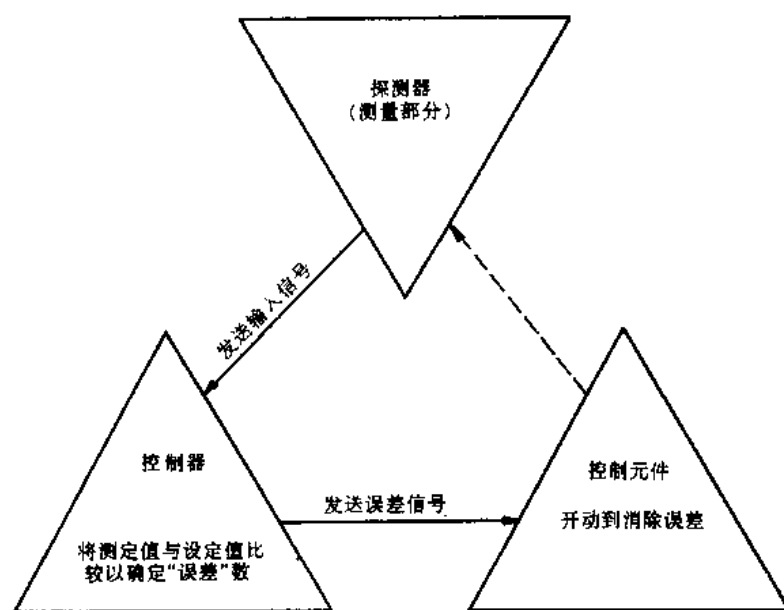


图 21-2 控制回路

测定。例如，纸张水分含量只能以实验室方法直接测定；但它可从测定诸如下列相关性能准确地推断出来：

- 对电流的阻力
- 电介质阻力
- 微波能量的吸收性
- 红外能量的吸收性

制浆造纸工业常用于监控或控制若干变数的基本原理，归纳示于表 24-1 中。

控制器

几乎每一个生产过程中，都必须把某些变数严格地控制在一定值，以保持有效的生产运作。控制器以设定值 (set points) 的形式规定这些要求值。对一个基本控制回路，设定值可

安插进控制台或利用设定值按钮进入到控制器本身。不管哪种情况，该设定都相当于直流电流信号在 4~20mA 范围内 (或气动信号在 20.68~103.41kPa 范围内)。

测量值也转换成 4~20mA 直流电流 (或 20.68~103.41kPa) 信号，并从探测器发送到控制器。设定值与输入信号比较即得出一个差值，称之为“误差”，该“误差”是驱动控制器中信号的关键。响应的控制动作将取决于“误差”的方向与数值以及在某种情况下还取决于该“误差”的变化有多快。控制器的动作减少了“误差”，并利用输出信号使实际值接近要求值。输出信号一般与设定值和输入信号为同一类型，即 4~20mV (或 20.68~103.41kPa)。

模拟模型

如果控制器执行其功能以自动将工艺变数调节到要求值，控制回路必须适应与协调生产

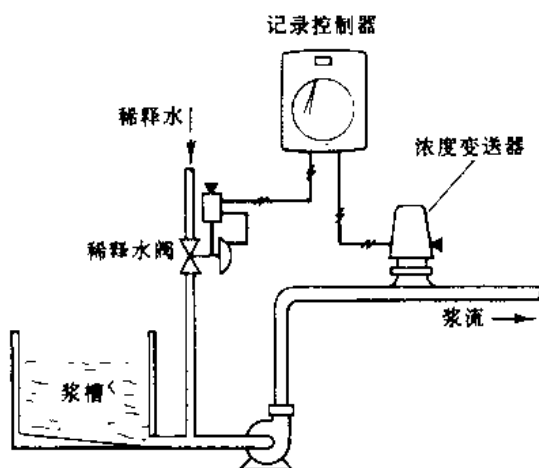


图 24-3 浓度控制回路

过程的特性。对取决于响应时间和滞后导程(lag-lead)需要的多数工艺应用,模拟系统使用三种通用控制模型。相应的各调节装置称之为比例范围(P)、积分或重整(I)和微分(D)。

比例范围是指工艺变数的数值范围,在该范围内以控制器全刻度范围百分数表示的比例控制动作。例如,如果温度控制器的全刻度范围是 0°C 至 200°C ,比例控制动作是在 50°C 以上,比例范围就是25%。如果比例控制动作超过 200°C 范围,比例范围就是100%。比例范围的宽度决定在被控变数中任何规定变化的阀移动量。

当使用简单的比例控制器时,工艺过程也许稳定在某个值而不是设定值。在稳定值与设定值之间的差别称为偏移(offset)。有时偏移很小,并可能在允许范围。当偏移不合乎要求时,就需用比例加上重整(两种模式控制)以修正输出信号消除偏差。当比例范围改变时重整作用可用肉眼观察到。重整调节(调谐)是以定时的形式,重整速率通常以每分钟重复次数表示。重整与“误差”值和“误差的持续时间成正比;只要有“误差”,该作用就累积起来,而当“误差”降至零时才停止。

有时,一个特定工艺有一个空载时间,并以单或双模式控制的方式转移滞后,形成不满意的控制。于是就需要增加第三个控制模式即微分作用。该第三模式在工艺变数的变化速率与输出信号之间提供一个持续的相互关系。它提供一个原始的大量过调(over-correction)以抵消不利的工艺滞后。微分时间是微分作用领先于比例作用时间的的时间间隔,同时微分模式调节(调谐)是以定时的形式。

数字控制器

在20世纪70年代,要求PID控制功能的仪表回路用模拟设备是最好的了。诸如时间共享(time sharing)和点取样(point sampling)的计算机控制技术将空载时间和相滞后引入PID功能中,削弱了控制系统的响应能力和稳定性。这些问题在20世纪80年代的集散控制系统(DCS)中获得了解决,尽管发展了新算法和非线性补偿法。今天多数的控制器就是以微处理器为基础的。

新型数字控制器比起模拟系统有不少重要优点。首先,可用少量硬件和用更可靠的组件实行若干控制功能。也许最大的优点是控制功能不是与硬件捆在一起,可以执行各种功能。一旦安装上基本的控制器硬件,就能以很少的成本实行更精密和更佳的控制策略。而且数字控制的高准确度和无漂移的特点,使得用户在操作他的工艺过程时更接近于其规定范围。

智能传感器(smart sensors)

在以微处理器为基础的控制器方面,常常用到“smart sensors”这个术语。通常,标以

表 24-1 各种传感器的测量原理

变数	原理
温度	— 流体膨胀
	— 电压感应(热偶)
	— 电阻测量
	— 热敏电阻
压力	— 汞柱
	— 盘管表(如波登管)
	— 薄膜片
	— 差示压力计
压差	— 双膜盒
	— 满荷测压仪
	— 应变表
	— 差压式流量计
流量 (封闭管)	(如孔板、文丘里管)
	— 电磁流量计
	— 叶轮式流量计
	— 转子流量计
流量 (敞口滴槽)	— 堰高
	— Parshall 滴槽高
液位	— 气泡管
	— 装在槽体上的膜盒
	— 伽马射线
	— 流体粘度
浆料浓度	— 流体剪力
	— 比重计
	— 伽马射线
	— 伽马射线

“smart”的产品都将具有某种自我校准、内部诊断、抵消其他变数波动、线性化、以及系数简易调谐的能力。

编程逻辑控制器 (PLC)

编程逻辑控制器是一种数字化操作的电子仪器。它使用内存指令的编程存贮器,以执行诸如逻辑学、程序化、定时、记数以及控制机器和工艺运算等特定功能。这种控制器是在 20 世纪 70 年代推出的,已在若干制造作业上广泛应用。在制浆造纸工业,这类控制器主要用于分散逻辑 (discrete logic)、安全连锁和其他程序作业。

新型 PLC 虽有控制某种模拟回路的能力,但由于它们的设计重点没有包括运算和构形 (configuration) 要求,它们与计算机界面连接很差。不能与计算机软件一体化,已因此严重制约了它们在制浆造纸工业工艺控制上的应用。

反馈与前馈控制

典型的控制回路都利用反馈控制。在这类控制模式中,要等误差产生后控制器才动作。在多数控制用途上,控制器动作与反馈信号之间经历的时间很短,可获得满意的控制。

对长时间延迟的慢工艺过程而言,为使控制器能将控制变数掌握在所要求的限制范围内。负荷或综合负荷的变化可能显示得太晚些。增加前馈控制,就可进行修正,以预先处理负荷或综合负荷的变化,因此减少了将是别种结果的瞬间误差。前馈控制本身在功能上有局限性,必须与反馈回路一起使用以提供全面的控制。

控制阀

在大部分控制应用中,都以自控阀作为控制元件。控制阀基本上是一个可变的管孔,根据工艺需要用以调节工艺流体的流量。控制阀在结构、规格与组成材质上的适当选择,对于满足使用性能来说是很重要的。

应该评估控制阀的三个特性,以保证正确的控制响应:即生产能力、特性曲线和被调量幅度变化范围。特性曲线是在全部范围内流量对阀开度(阀杆行程的百分数)的响应。各种阀的特性曲线,例示于图 24-4。对大多数控制应用而言,希望是线性响应。被调量幅度变化范围是控制阀能给予稳定运行的流量比(高流量与低流量之比);流量比太低表示阀特性曲线是非线性的。

选择适当的阀型与结构,以避免诸如腐蚀、闪蒸、堵塞、气穴、噪音、震动和阀座渗漏等与使用有关的问题也是很重要的。图 24-5 列示出若干常见的阀型。图 24-6 示出一个典型的带气动执行机构的自动流量控制阀。

控制阀上的执行机构通常是一个气动隔膜或活塞,它来自控制器的信号转换成阀杆或阀瓣的位移。弹簧使气压作用力与流体流动作用力相对抗而将阀塞或阀瓣固定在一个位置,当气压作用下降时,又使阀返回而处于关闭位置。

新式控制概念

较复杂的控制系统常在控制器回路中使用两个或多个测量。多变数控制的基本形式为级联控制 (cascade control)。其他常用的系统有比例控制和逆反控制 (cutback control)。

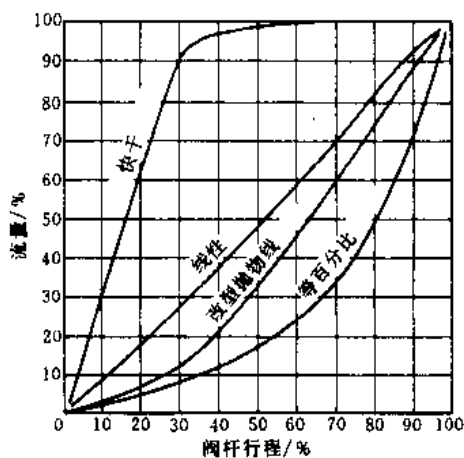


图 24-4 各种阀的流量特性曲线

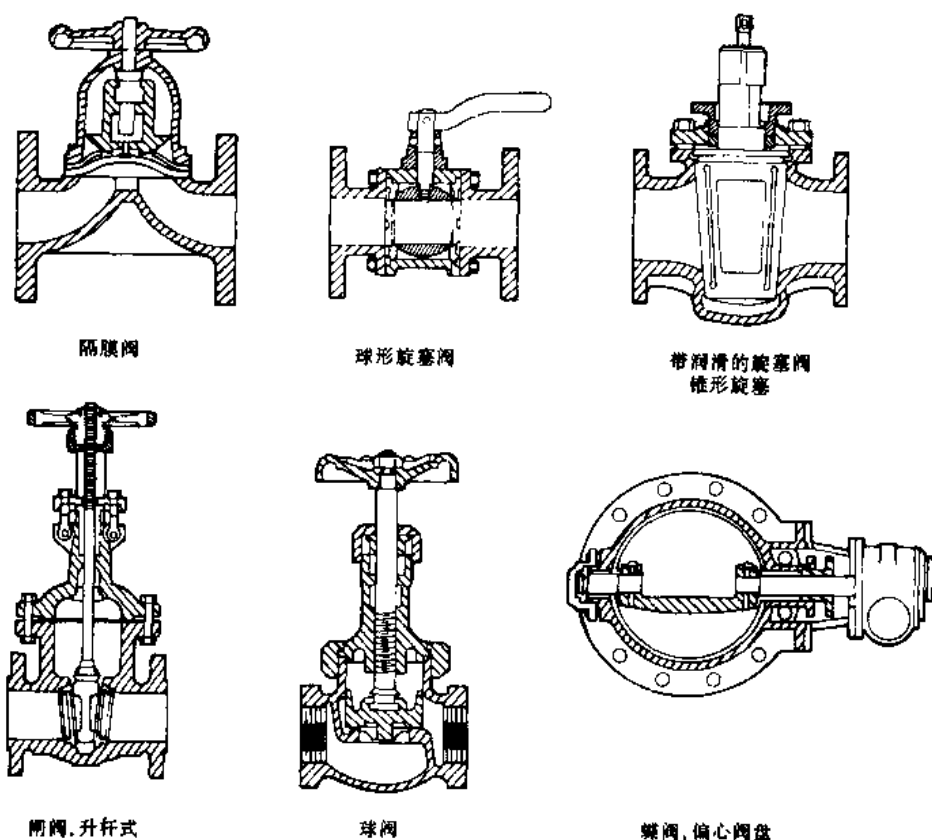


图 24-5 常见的阀型

使用级联控制装置,其目的是借将第一控制器与影响第一变数值的第二变数的控制器连锁起来,以改进第一变数的控制。来自第一控制器的输出值调节第二控制器的设定值,从而有助于操纵第一变数。通常还引入第二回路以改进表示失常和长时间稳定的工艺控制,而这用单一的三种控制器型式是无法满意控制的。第二变数不是常规意义上的控制,而是操纵控制。

当要求控制某个变数与第二变数成固定比例时,可使用比例控制。在实践中,第一控制器设定值的改变将驱动在第二控制器中的比例装置,比例装置又调整第二变数的设定值以维持固定比例。该控制原理常用于纸厂的浆料调配系统。

逆反(或自动选择器)控制是在操纵单个最终控制元件以防止工艺变数超过预定限制时使用。为了确保操作人员安全或在生产系统不正常时保护设备,也可使用这种控制模式。

电子和气动仪表的比较

电子和气动仪表系统都是广泛应用的,各种形式都有很好的使用性能。电子系统实际上使用于所有工业生产。除了

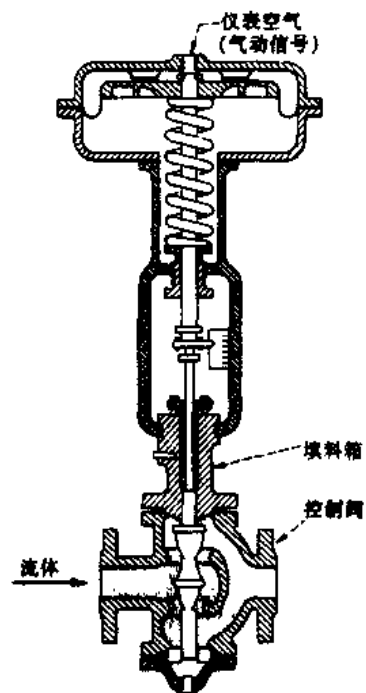


图 24-6 带气动执行机构的控制阀

pH 和化学成分等少数例外, 气动系统可测量绝大部分变数。在多数应用场合, 这两种系统之间在灵敏度和可靠性上, 差别很小。但电子系统具有迅速响应的优点, 电子信号可传输的距离也没有限制。

通常电子仪表的价格高过相应的气动仪表。对以计算机和微处理器为基础的系统必须是电子信号。而气动信号可容易地转换成电信号(反之亦然), 但转换对控制准确性有额外限制。

24.2 过程控制计算机

在 20 世纪 60 年代, 数字计算机引入工艺过程控制, 但由于投资大以及由于检测技术还不能用来提供许多全面控制策略所需的输入信号, 并没有在制浆造纸工业获得很快推广。20 世纪 70 年代, 在其相应价格明显下降的同时, 又引入了许多新的传感技术, 遂使计算机的应用趋于加速。

在最终分析中, 安装计算机的主要理由是可以提高生产效率和增加利润。另外的好处是可形成增加操作人员对过程了解的集中界面, 并根据管理需要提供报告文件。

当今的过程控制计算机和微处理器利用了包括多回路串联系统、时间滞后补偿以及非线性和可变仪表参数的逻辑概念和复杂控制方案。它们也提供数据的获得与显示、统计学分析以及建立数字模型。

发展演变

用于过程控制的第一个计算机技术, 是大型主体式(main frame)计算机。为了证明安装这种昂贵装置的合理性, 开发了大量的(以及不切实际的)项目任务。购买者常常不知道编制计算机程序所需要的时间和工作量。

早期装置主要用于收集和记录过程的数据(监控过程并起到数据记录器的作用)、发出警报(如果需要)与进行计算。开始, 这类计算机并不直接用于控制工艺仪表, 但它们向操作者提供他所需要的信息, 以便正确调节各种控制装置的设定值。

监督数字控制(SDC)

监督控制是带模拟控制回路全自动化工厂的逻辑累进步骤。这项控制的原理是, 计算机接收跟控制器相似的传感器信号, 并有可能提供当前过程变化的画面。计算机定时计算出(在输入信号与编程指令的基础上)所选变数(例如, 在所要求质量水平上, 生产出最大产量)的最佳数值。然后改变控制器的设定值以新的经过计算条件进行在线过程的操作。没有计算机, 用人工处理这些计算, 一般很少经常进行, 而且精确度非常差。

在已经拥有能接受远距离设定值的控制器的工厂, 增加计算机控制系统进行 SDC, 可能仍然是一个有价值的方案。但如果原有的控制器必须更换了, 一般最可行的方案是采取集散控制系统(DCS)。

直接数字控制(DDC)

下一步发展是直接数字控制, 此时计算机取代了控制回路中模拟控制器的功能, 并增加了监督控制的程度。采用 DDC 时, 回路原理不变, 但是所有的变数都输入到计算机。在所有情况下, 计算机计算必需的校正动作, 并将它直接输入到控制元件。使用 DDC 的主要问题是全部依赖于计算机, 为保证在计算机工作期间的连续操作, 有必要提供备份。已被采用的最理想措施是用双台数字计算机, 每台都具有全套控制工艺过程的装置, 以备一旦另一台发生故障。

DDC 的流行时间非常短暂, 现已很少使用这种控制原理。双台计算机比较昂贵, 且随着

控制和程序设计任务的增加,很快要求升级或增添更多的双台计算机。

微型计算机

随着在 20 世纪 70 年代前期,更小更便宜计算机的问世,已不再需要将大量控制项目组合在一起以证明购买和安装计算机系统的合理性。微型计算机在经济上比主体计算机更适合于只含少数重要回路的简单控制策略。专门用途的计算机以及改良式传感器技术在纸机上使用得非常成功。虽则有不足之处,小型控制系统的运行是成功的。因为它们集中于任一造纸作业的关键变数上,并控制这些变数。

但到 20 世纪 70 年代后期,专用的微型计算机方法已有其局限性。随着微型机的进一步发展,功能与性能增加了;这给微机带来了以前跟大型计算机系统一样的复杂性与不可靠性问题。扩容与改造很复杂,系统间的联系很困难而且很昂贵。

集散控制系统 (DCS)

当今计算机控制的佳模式是配置许多小型计算机以代替大型通用计算机。DCS 的关键是将计算和控制功能分散到全厂。这种配置方法将控制“侦察机构”放在单元工序的附近。通常小型计算机或微型处理器(为特殊任务而设计和编程)很容易证明其技术和经济上的合理性。许多集散系统使用从单回路带微处理器的控制器到多回路或相互作用的带微处理器的控制器等级体系。这种为每个专门的过程单元选择恰当先进的控制技术,提供了整个全过程控制的功能分配。

在一个真正集散系统中,各种过程控制单元(这些单元在地域上也许是分离的)在“数据客车”或“数据公路”上联接在一起,允许在局部计算机(以及如有中心计算机时在与中心计算机)之间数据来回作高速有效转移。这种传输技术通常导致现场导线费用的明显减少(与中心控制计算机比较),因为单根同轴电缆就可联结多达 400 或 500 个单控制回路。在 DCS 中,冗余通信线路很普通,一旦主要线路出事,备用的通信线路就可顶上。

尽管集散控制器需要若干经得起风雨的保护罩,周围的条件可能比计算机本身所需的更为重要。如果计算机因某种原因出了事,“侦察”控制器继续控制着生产过程。因而,不需购置备用计算机。显然,如果带微处理器的控制器出了事,故障程度就受影响的回路数量而言跟控制系统的设计有关。通常,那些在集散系统最重要回路上的控制器是受第二单元(冗余控制器)支持的。

虽然如果需要,可组成集散系统作为监督或直接数字控制系统,但这些控制原理由于在单回路水平带微处理器控制系统内部所存在的复杂性,并不适用于重要场合。每个带微处理器的控制器具有计算机本身的全部输入、输出和计算子系统。

全厂控制

在微型计算机和微处理器承担了许多控制功能的同时,已重新对中心计算机作为信息和操纵系统发生了兴趣,特别是对纸厂或综合工厂。其目的将是所有数字系统都互相联结成全厂性的网络,以提供有效的管理判断的支持手段。这种过程控制与形成判断的结合,有时称之为制浆造纸工业实现了计算机辅助生产。

由于制浆造纸厂系统的复杂性以及改善全厂运行的不断努力,一个先进的信息与分析系统对管理部门和操作人员可能是有用的手段。通常,中心计算机(作为“分级”控制结构的终端元件)将利用高速印刷机按天、按周和按月地打印出许多报告。以各自专用的计算机处理各个工艺过程(例如蒸煮器、石灰窑)图表显示的同时,中心计算机则通常提供综合性显示。它还可进行物料和能量衡算、并绘出以时间为基础的曲线(当前与过去的)以及计算最

佳化生产策略。

全厂控制的基本原理有很多。图 24-7 列示出一个概念，这里列出了目标、仪表的响应性和典型的响应时间⁽¹⁾。金字塔底部的基本结构单元（第一层次）是仪表系统。没有一个很好设计和维护的仪表/电气系统，任何进行全厂控制的企图都将是徒劳的。第二层次是单元过程控制与质量监督。第三层次是生产和能源管理，这通常称为“全厂控制”层次。最后，在这个特定模型中的最高层次是生产作业进度。在这里，主要目的是安排生产指令，以便在某种意义上获得对生产设备最大限度的利用。

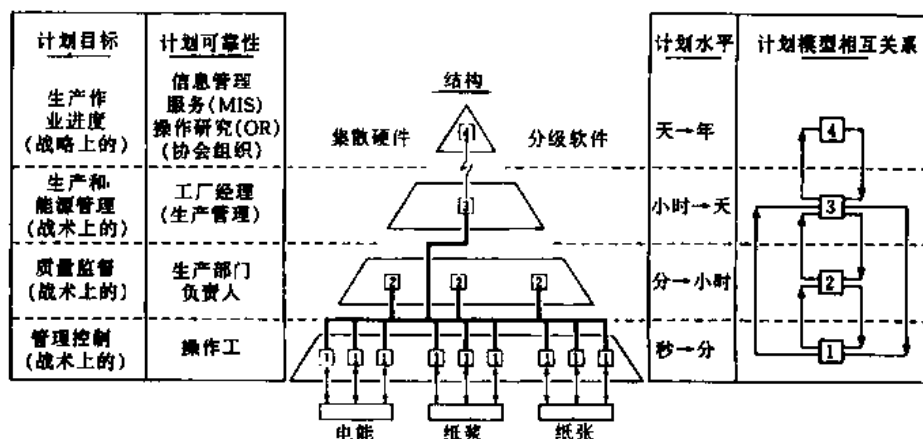


图 24-7 全厂控制系统的举例

尽管对全厂控制的建议作了广泛游说，到 20 世纪 90 年代前期，北美实行全厂系统的还是很少，也许是由于其他的事情更为紧迫。

控制室

从传统的模拟式仪表转向计算机控制已使控制室有了根本的改变。最明显的情况是带显示器的操作台。在现代化控制室内，电视屏幕（CRT）是操作工了解生产过程的窗户，在这里，过程信息的逻辑与功能显示可迅速而有效地进行双向交流。虽然屏幕上的信息与以前模

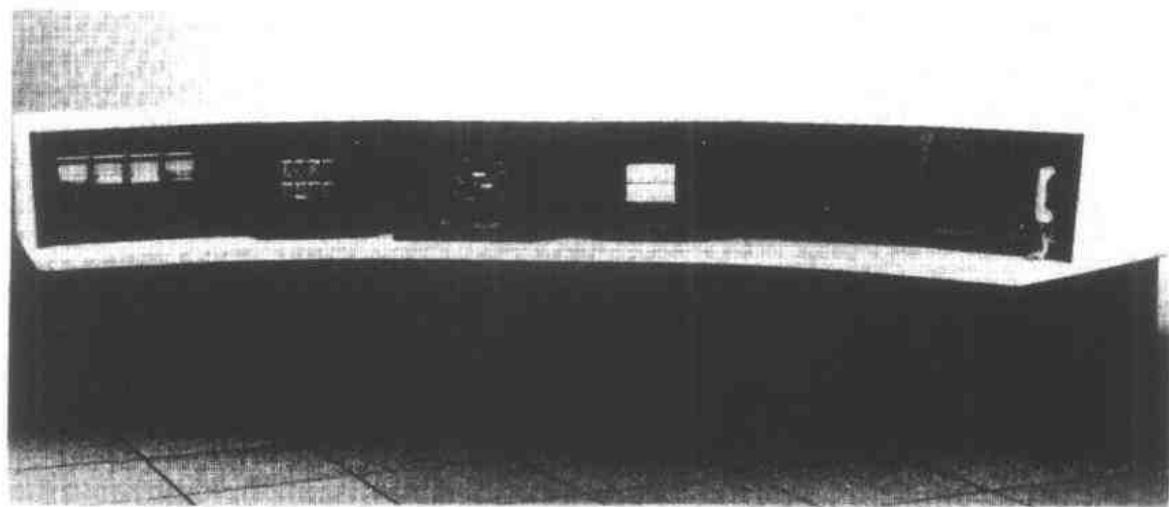


图 24-8 带电视屏幕的操作站 (Foxboro 公司)

拟式仪表差不多相同,但在描绘手段、信息数量以及准确性方面都增加了。通常操作工是在带空调的控制中心管理生产过程。理想的操作站应设置在操作者可集中工厂情况的环境中,而不被高基座交通、工作场地不够或混乱的参考材料所干扰⁽²⁾。所有的显示和控制都应该位于操作工可达到和视力范围之内的中心点上。控制台应包含 4~8 个安装在小柜中的电视屏幕,供坐着的操作工使用(例子见图 24-8)。控制台通常呈半圆形。有一排或两排电视屏幕。

键盘也是操作工界面的重要部分。通过恰当的输入,操作工改变基本控制回路的设定值,而且坐在控制台前就可翻阅各组画面,类似于沿着监控各种模拟仪表的仪表板移动。虽然多数键盘是标准件,但可根据特殊操作功能而设计定做键盘,以简化操作系统和提供更大的安全可靠性。

参 考 文 献

- (1) WAYE, D. What is a Millwide System *Tappi Journal* (April 1989)
- (2) OTTINO, C. Designing and Laying Out a Control Room *Chemical Engineering* (September 1991)



吹
吸
转
弯
、
抽
浆
机
工
产
生
、
条
纸
同
样
、
子
泵
、
件
损
耗
和
件
备
等

为制浆造纸工业提供 全方位的支持

Metso Paper 是全球制浆造纸技术和服领域理想的供货商。2001 年春天，Metso Paper 新的技术服务中心将在江苏省无锡开业。届时，中国的制浆造纸工业在中国本土就可以得到 Metso Paper 的全方位服务。作为制浆造纸机械一个地区性的服务机构，无锡技术服务中心为用户生产工艺的改进、生产线的改造、维护和维修提供广泛的专业服务。

依靠我们的现场测试、分析问题、解决问题等服务，我们可以帮助用户改进生产过程的性能、提高生产线产量。我们的服务覆盖造纸工业的所有工艺，从化学浆、机械浆纤维和人造板生产直到纸、纸板和薄页纸的生产技术。Metso Paper 无锡技术中心的特色是拥有一个功能齐全的服务车间，从事辊子的机械大修、辊子包覆、辊子生产和烘缸生产等业务。另外，我们还能提供各种型号的零部件和易损件，供机器的日常维护之用。不论何时，如果您需要快捷、可靠的服务，请告诉 Metso Paper。



Metso Paper(无锡)技术中心有限公司
中国江苏省无锡市汉江路5号-14楼,邮编 214028
电话: +86 510 5225939, 传真: +86 510 5225940
电子邮件: paper.service@metso.com
网址: www.metso.com

第 25 章 纸厂辅助系统

一旦规划建设纸厂，就会有許多需要。最重要的是要有充足的木材供应。其他的重要事项是要有丰富的水源和电源。劳动力可以招收，基础设施可以建筑，所以在最后的可行性分析中，水可能变成关键的事项了。

25.1 供水

就在 1965 年，典型的漂白硫酸盐浆厂生产每吨浆的用水量为 45000gal (合 170m³)；典型的新闻纸厂每吨成品纸用水量为 15000gal (合 57m³)。在过去 25 年中依靠生产用水更有效的循环回用、分流 (Side stream) 的更全面利用以及污冷凝水的回收，上述耗水量数据已有明显下降⁽¹⁾。尽管如此，质量良好的供水，仍然是任何传统制浆和 (或) 造纸生产的一个基本要素。

水的用量和质量应该加以监控，用水的成本也应与其他原料一样对待。对许多纸张产品来说，水的质量是非常重要的，在生产高质量产品时，其技术要求显得更为严格。

供水的来源

工业水源可为各种地表水或地下水。地表水源包括湖、河和水库；这些水根据季节性因素和水流过的地层特征，含有不同数量的有机物与无机物杂质。杂质可以是溶解状、悬浮状或胶体状的，还存在着细菌。有些地表水还含有城市或工业污染物。

地下水取自水井或泉水。这类水通常含有很高浓度的可溶性矿物质，但悬浮固形物和有机物的浓度很低。部分常见的水中杂质列示于表 25-1。

表 25-1 常见的水中杂质

浊 度	—由于存在悬浮固形物	二氧化硅	SiO ₂ ；锅炉结垢的原因
色 值	—通常跟可溶性有机物有关	铁 镁	—可造成全漂浆的颜色问题
硬 度	—钙和镁盐，锅炉与热交换器结垢的主要原因		

有些纸厂受惠于很纯净的水源，而不需加以处理。但在多数情况下还是建议要处理原水以除去或控制杂质，不然将对产品质量有负面影响，或增加维护费用。通常，主要考虑的事项是降低悬浮物的含量；并根据特定质量的要求，采取下列任一项常用方法：

- 澄清或沉淀
- 过滤
- 凝聚后接着沉淀或过滤

也可根据特殊需要采用其他方法处理全部或部分水。例如，锅炉给水有很严格的质量要求 (在 25.2 中讨论)。辅助的方法还包括氯化或臭氧化、曝气、除气、去矿物质 (离子交换) 和微过滤。

具体处理方法

沉淀是指沟流水缓慢地经过贮存塔或槽允许有时间让粗粒子在水溢流前沉积到底部的任一种形式。通常，用于这种目的的都是大型圆形澄清器。

过滤最常见的是在砂与无烟煤的混合介质中进行。通常有几个过滤器单元（可能的型式列于图 25-1），并联配置进行操作，以便各个单元台定时反洗而不减少通过量。典型的过滤器介质组成列于表 25-2 中。

凝聚（或絮凝）是在必须从原水中除去细小悬浮物和（或）色泽时使用的。加入凝聚用的化学品诸如明矾（硫酸铝）或石灰（CaO），以形成胶状沉淀物（“絮凝块”），这种絮凝块网集与吸附悬浮物和色泽。絮凝块通常都有沉降性能，可通过沉降法加以除去。新型的凝聚/沉降装置（带污泥内部循环）列示于图 25-2 中。

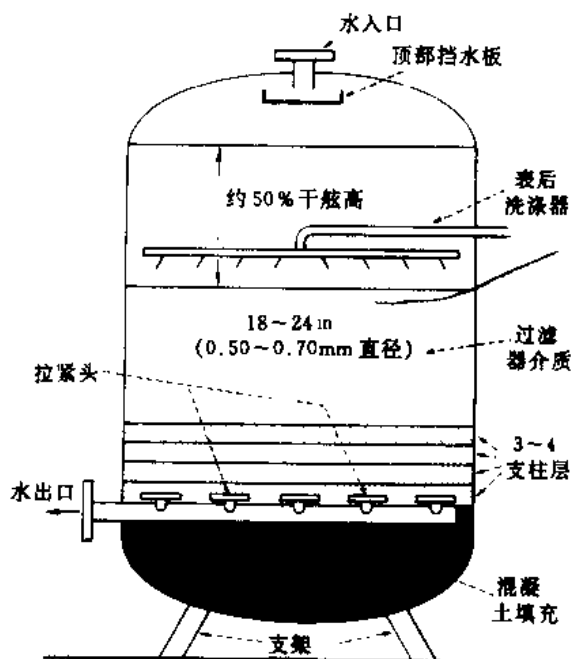


图 25-1 降流式压力过滤器，过滤器介质由逐级加粗的料层所支撑

注：1in=2.54cm

表 25-2

用于过滤器的典型介质

砂和卵石			无烟煤		
		深度 in			深度/in
顶层	20~35 目	26	顶层	3/32~3/64in	26
次层	6~10 目	4	次层	3/16~3/32in	4
次层	1/4~1/8in	4	次层	9/16~3/16in	4
次层	1/2~1/4in	1	次层	13/16~9/16in	1
底层	1~1/2in	4	底层	15/8~13/16in	4
总计		42	总计		42

注：1in=2.54cm

许多纸厂对原水进行氯化或臭氧化以减少细菌和粘质物的生长。化学品用量取决于可氧化物的含量，但在水中应保持略为过量的化学品以获得最有效的处理。

从水中除去硬度可用好几种方法，但最常见的是用离子交换树脂。使水通过一个含有树脂粒子过滤层的压力容器。二价的钙和镁离子优先为树脂所吸附，通常替换掉一价钠（或氢）离子。当树脂被二价离子饱和了时，该装置就不再工作，而进行“再生”，最普遍的是用浓盐水（NaCl）再生。钙和镁离子以可溶性氯

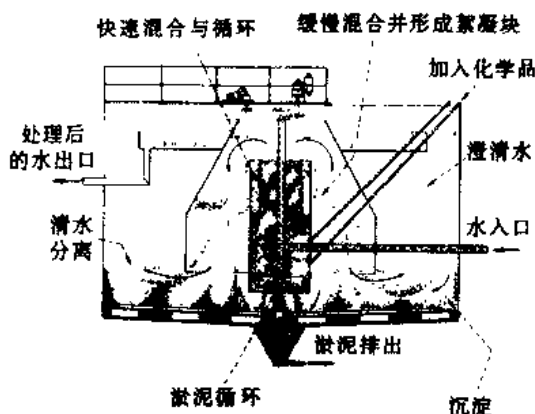


图 25-2 处理原水的固体接触式絮凝澄清器

化物形式从系统中除去。树脂（冲洗后的）则准备再次有效地从水中去除硬度。

25.2 锅炉给水

上一节讲到的水处理方法是用于主要的原水。这类一般性处理方法通常称之为“外部处理”，以别于更有局限性和特殊性的方法，后者称之为“内部处理”。在制浆造纸厂几乎普遍需要的是锅炉给水的内部处理。

进入纸厂的水，不管其外部处理的型式和程度如何，通常都含有杂质，可在锅炉管内或蒸汽与冷凝水处理系统造成麻烦。锅炉处理的主要目的是：

- 预防形成结垢；
- 减少金属腐蚀；
- 预防挟带固形物的水进入蒸汽。

结垢的预防

如果不加控制，锅炉管内的结垢（图 25-3）将降低传热和限制流通量。传统的控制办法是沉析可溶性矿物质成为自由流动的、可用“锅炉清洗剂”除去的泥浆。具体采取的步骤取决于所存在的杂质情况，但通常包括下列几部分：

- 将 pH 控制在 10.5 左右以沉析出氢氧化镁（也预防酸的腐蚀）。
- 加入三聚磷酸钠以沉析出钙。
- 加入有机污泥清洗剂（通常为改性木素、鞣酸、淀粉或聚合物）。
- 加入螯合剂。

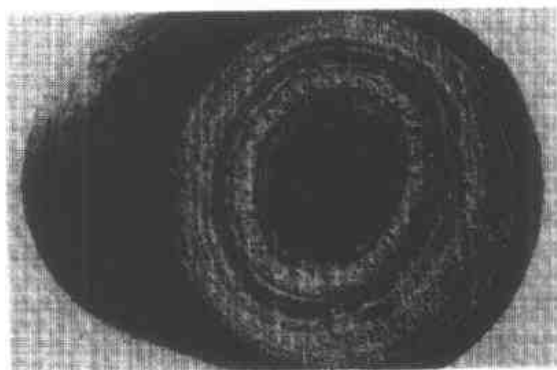


图 25-3 锅炉水管中的结垢

对操作压力超过 6.3MPa 的锅炉，彻底的去离子作用是较好的控制硬度的办法⁽²⁾。在这里，目的不仅要除去钙和镁，还要除去全部离子（例如硫酸盐、氟化物和碳酸盐）。即进行两段离子交换，在这里，替代离子是氢离子和氢氧离子，它们化合而形成水。

腐蚀的控制

锅炉用水中主要的腐蚀源是溶解氧和酸度（冷凝水返回管中的腐蚀原因主要是二氧化碳）。酸性腐蚀可借烧碱（NaOH）或碳酸钠（ Na_2CO_3 ）中和而容易地得到控制，最佳 pH 值约为 10.5（在高 pH 值时管子表面可发生“碱蚀致脆”现象）。局部氧腐蚀（点腐蚀）可用机械除气法（即将溶解空气蒸发掉）或用化学除氧剂（例如低压锅炉用亚硫酸钠，高压锅炉用肼）加以控制。

回水管的碳酸性腐蚀（由于所挟带的二氧化碳溶入到冷凝水流中）通常在锅炉给水中加入中性或起膜的胺加以控制。中性胺的作用是化学中和其酸性，起膜胺则是在金属表面上形成保护性薄膜。

锅炉水挟带物的控制

如果不加控制，与锅炉水一起的固形物被带进蒸汽中，整个蒸汽系统的结垢引起各种麻烦，包括点腐蚀和应力腐蚀。汽轮机及其相关部件对锅炉水的挟带物特别敏感。

在汽包（steam drum）中，蒸汽从锅炉水分离出来（指锅炉下部）。由于表面冒出大量汽

泡而形成细水雾。汽泡一般都配有挡水板或更复杂的内分离设备。但是还没有一个内分离器可以除掉所有的细水雾，而且多数情况下，为减少挟带，在锅炉给水中加入消泡剂化学品是很有用的。

25.3 锅炉操作

锅炉系统提供了燃料能转化为蒸汽的一种方式。蒸汽是作功和传热的一个适当的能量形式；它利用汽轮机可迅速地转化成电能。锅炉本体由一组汽包与管束（它在压力下容纳和输送水与蒸汽）组成。全部锅炉系统包括一个炉膛（燃料与空气在这里以适当的比例混合）以及必须的风机和附属设备，附属设备有空气和燃料计量用的，以及控制燃烧反应用的。传统烧废料的锅炉系统例子见图 25-4 和图 25-5。

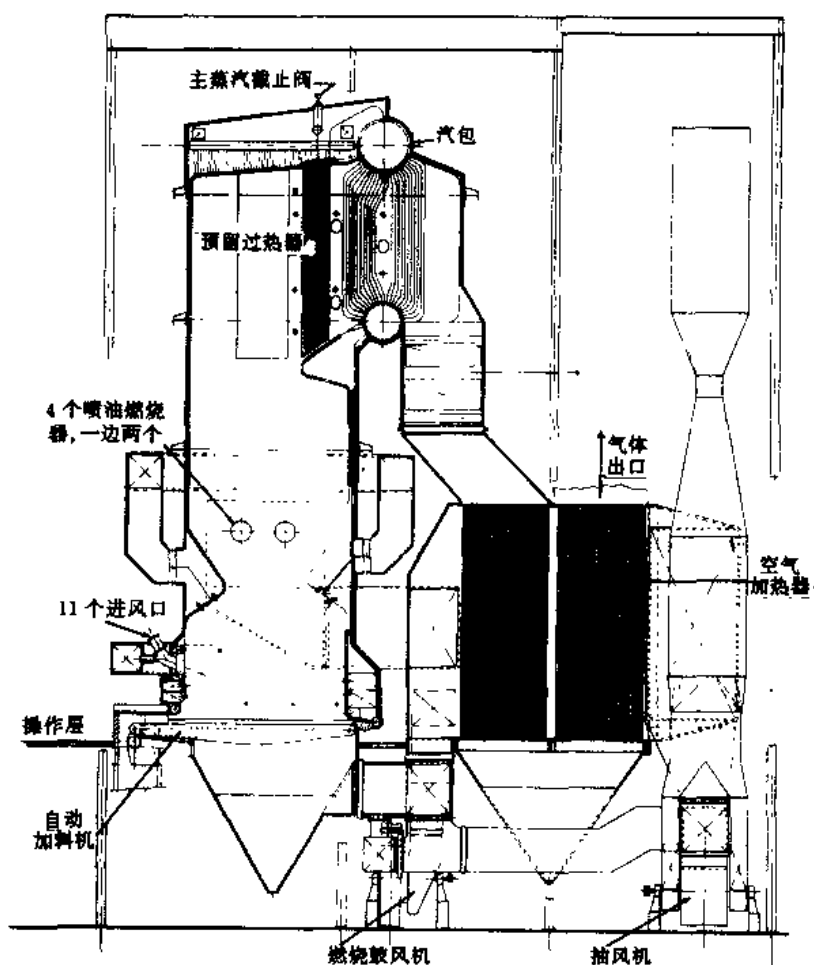


图 25-4 木材废料锅炉 (Babcock 与 Wilcox 公司)

根据压力、温度和产汽量以及所用燃料特点，锅炉制造成很多种规格和结构。炉膛可设计用固体、液体或气体燃料，包括煤、树皮、制材厂废料、都市废料、油、废液和天然气。绝大多数制浆造纸厂的蒸汽都是由现场装配的大型锅炉装置产生的，汽压至少 4.2MPa，以便能有效地发电。但有时也用预制的快装锅炉生产季节性用量波动的补充蒸汽或调节不稳定的负荷状况。

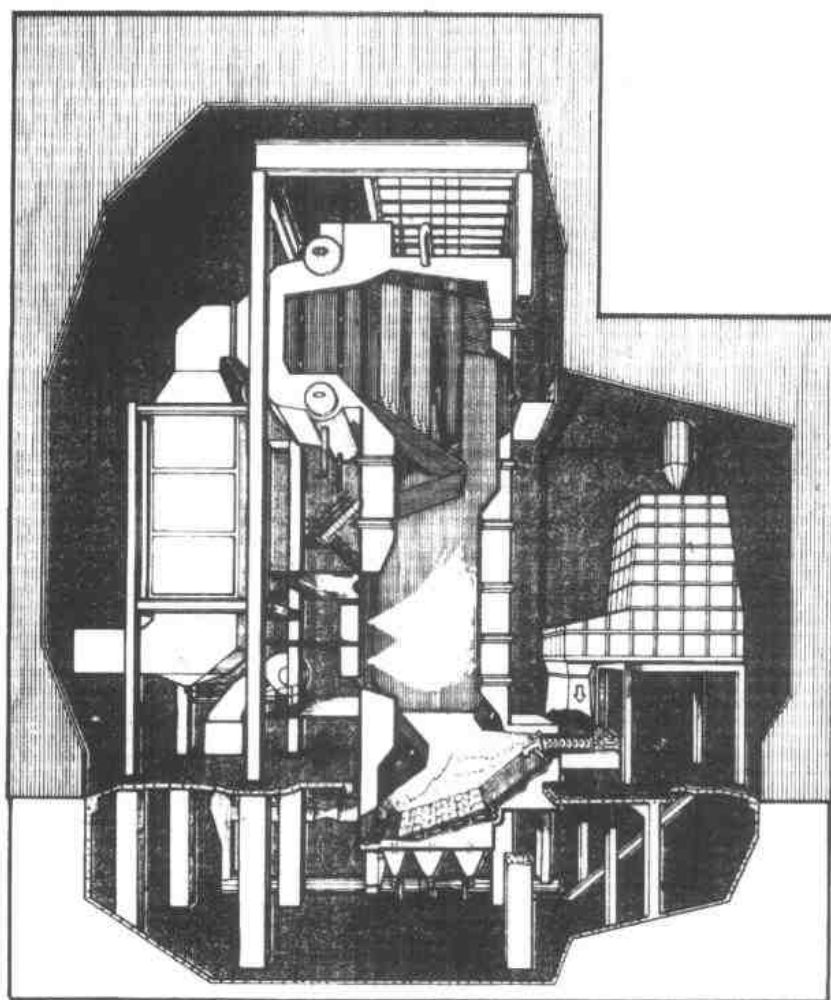


图 25-5 树皮锅炉 (Gotaverkin 公司)

循环流化燃烧 (CFC)

循环流化燃烧是一种新型的工业化应用技术，它提供燃料利用上灵活性以及廉价低级和（或）高湿燃料的有效燃烧。CFC 还有可能将含硫燃料与石灰石一起燃烧，以便将使这类燃料的 SO_2 气体排放量控制在低水平。这种燃烧方式所得的炉灰和残余物是干的，并容易作填地之用。

一个 CFC 电站的设计示意图，示于图 25-6。其基本技术是迫使燃烧空气高速通过燃料与惰性物料（砂子或石灰石），以便激烈地分散混合物并促进接近完全的燃烧，随后是较大粒子的回收与重新循环。这项循环技术再加上除灰、传热以及适当配置的耐火砖表面，是 CFC 系统设计的要素。

燃烧过程

典型有机燃料的燃烧，造成复杂的有机分子高温裂解成碳和氢原子，随后与空气中的氧起反应。主要的化学反应及其发热值如下：

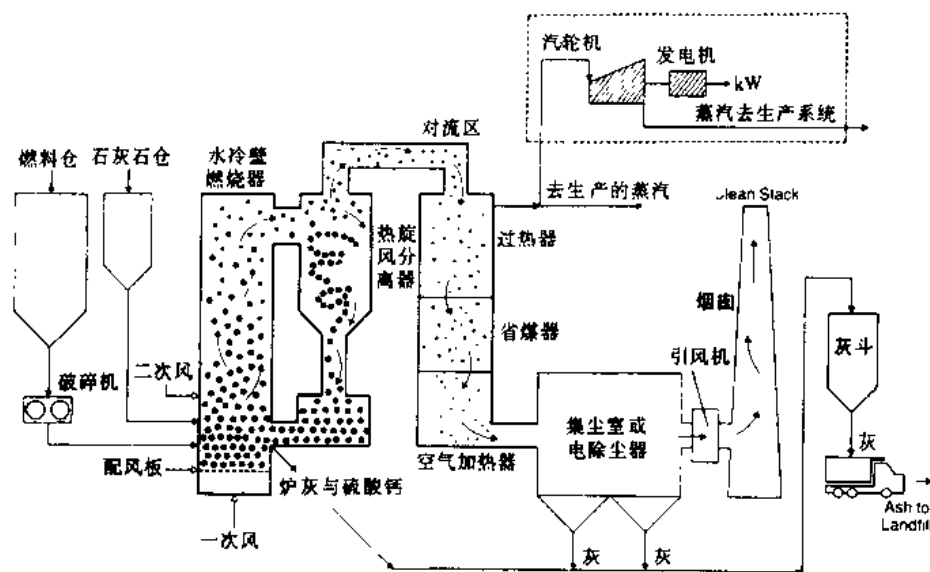
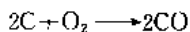


图 25-6 循环流化燃烧电站 (N. W. Dunlap)

化学反应

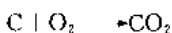
每磅可燃物的 Btu 值 (1Btu=1055J)

碳变成一氧化碳



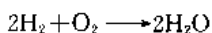
4400

碳变成二氧化碳



14600

氢变成水



62000

碳与氧化合形成 CO 或 CO₂，取决于有多少可用的氧。因为形成 CO₂，发生更多的热量，为完全燃烧提供充足的空气是很重要的。

空气实际上是气体混合物，主要含氮与氧及少量二氧化碳与水汽，还有微量的其他气体。氧与氮大约以如下比例存在：

	体积分数/%	质量分数/%
氧	21	23
氮	79	77

氮在控制燃烧反应的速率方面有好处，但也在出口气体中带走了热量。

锅炉的热效率是通过测定蒸汽带走热量与被燃烧燃料的总热量之比而得到。根据锅炉的设计和负荷状况，热效率变化在 65% 与 90% 之间。为自动连续地使用和控制锅炉采取了许多措施⁽⁴⁾。

锅炉的描述

在最简单的快装锅炉设计中，燃烧反应在炉体下部的炉膛中进行，热烟气穿过浸没在水中的管子，从而将水加热形成蒸汽。这类“火管”结构只适合生产出压力 1.05MPa 以下的饱和蒸汽。

大多数锅炉都是水管型的，水在管内部循环，并从管外的热烟气将热量传递给管内的水。设计可采取自然循环或受控循环。起初是最靠近燃烧火焰的水被加热，然后它上升到汽包 (steam drum)，并从液体中分离出水蒸气。液体经联管下行到通常称为泥包 (mud drum) 的

下锅筒。在这里，矿物质杂质聚集成污泥，并用人工或自动排污装置加以排除。

汽包的直径要比泥包大，以便有足够空间将蒸汽与水分开。低压锅炉由于其较大的蒸汽比容，比高压锅炉需要更大的直径（对每米汽包长度产相同蒸汽量而言）。汽包配有内部挡水板与其他分离装置以防止蒸汽挟带水分（见图 25-7）。

过热器的作用是将蒸汽温度提高到大于饱和温度的某个特定温度。过热对在发电时提供良好的“循环效率”以及对最大限度减少汽轮机最后阶段的水分（为避免叶片腐蚀）是很重要的。过热器所用管排的位置距离火焰很近，以便吸收更多热量。在这些位置的管间距决定于燃料灰分的“结渣倾向”。

“水冷壁”原来的作用是保护炉膛的耐火层，以及冷却灰粒使之降温到熔点以下防止在以后的管排中结渣。在现代锅炉中，炉膛的“水冷壁”成为锅炉循环水系统的组成部份。

根据锅炉的规格和操作特征，通常某种型式的“二次吸热表面”即省煤器和（或）空气加热器将会对锅炉的经济性有利。在较高锅炉压力时，在过热器处必须保持高温以提高传热效率。因为绝大部分蒸发潜热都加入到炉膛管壁的水中，不进一步加以回收，出口烟气带走的热损将会过多。热量可利用省煤器管区回收得到锅炉给水中，或利用空气加热器回收得到烟气中。

虽然从效率的观点，将出口烟气的温度降低到低水平很有吸引力，但这种降低受燃烧过程中水气凝结点的限制。这些被凝结的水汽通常含有硫和亚硫酸或其他高腐蚀介质。可能最好是控制出口烟气温度适当高于凝结温度，以积极防止形成腐蚀和结垢。

多数锅炉在略带负压下操作，以尽量减少操作工的危险。因此有些周围空气会不可避免地漏进炉膛，一般在这种情况下要漏入过程空气的 5%~10%。

树皮/废渣燃料

20 世纪 70 年代矿物燃料特别是天然气和石油的价格一再上涨，制浆工业的注意力集中于更有效地利用树皮和其他木材废料（废渣）作为能源。在这以前，这些废渣通常

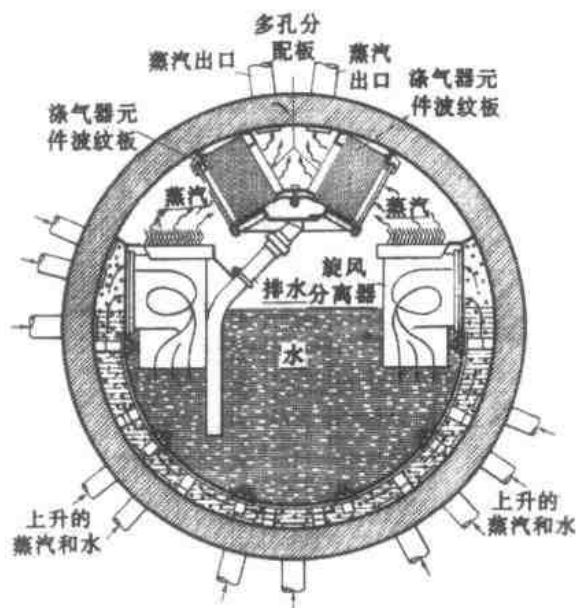


图 25-7 汽包中的蒸汽分离设施

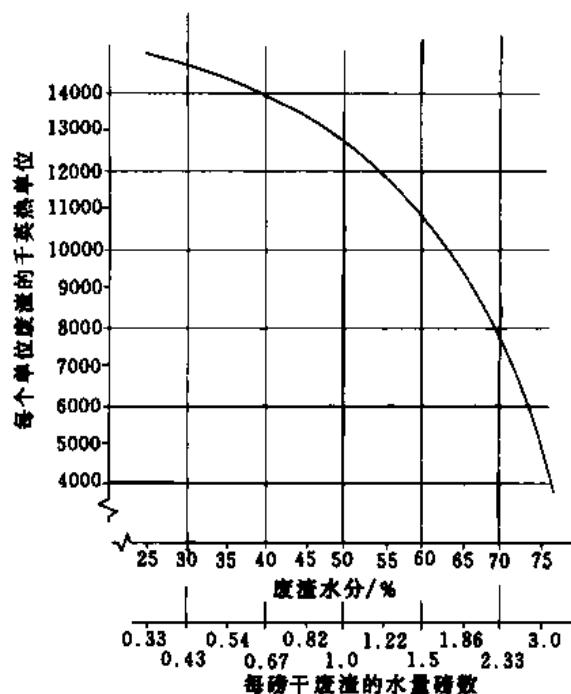


图 25-8 不同水分含量的工厂木材废料的期望蒸汽发生量
注：1Btu=1055J，1lb=0.45kg

更被看作是一个麻烦而不是一个能源。许多工厂宁可將木材废料弃置填地，不愿拿来替代廉价石油而降低锅炉的生产能力。

水分太高已经是有效利用废渣燃料的主要问题，特别是去使用湿法剥皮时。水分降低了燃料的有效热含量（参见图 25-8）和锅炉的出力。已对锅炉炉膛作了改造，以使用较湿的木材废料获得较好的燃烧和较高的锅炉效率。同时，也作了许多努力改进压榨机和其他机械脱水装置的效能以除去更多的游离水。图 25-9 示出一套利用双压区辊式压榨处理和脱除湿树皮水分的装置。但在改进利用方面最有前途的方法是将燃料干燥。

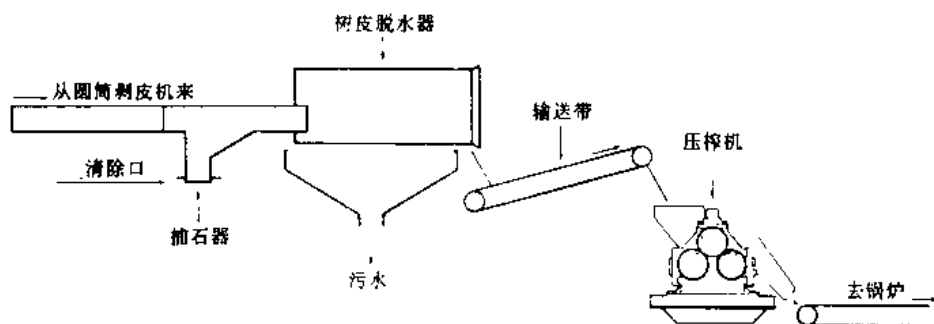


图 25-9 处理湿树皮的典型装置 (Fulton 铁工厂)

大多数干燥废渣燃料的方法是利用锅炉排出烟气的热量。实际上废渣燃料起到了取代或增添省煤器或空气加热器的“二次吸热面”作用。图 25-10 列示了一个代表性系统。另一个干燥废渣燃料的方法是使用一个单独的烧大燃气、油或干木材废料的干燥系统，如图 25-11 所示。

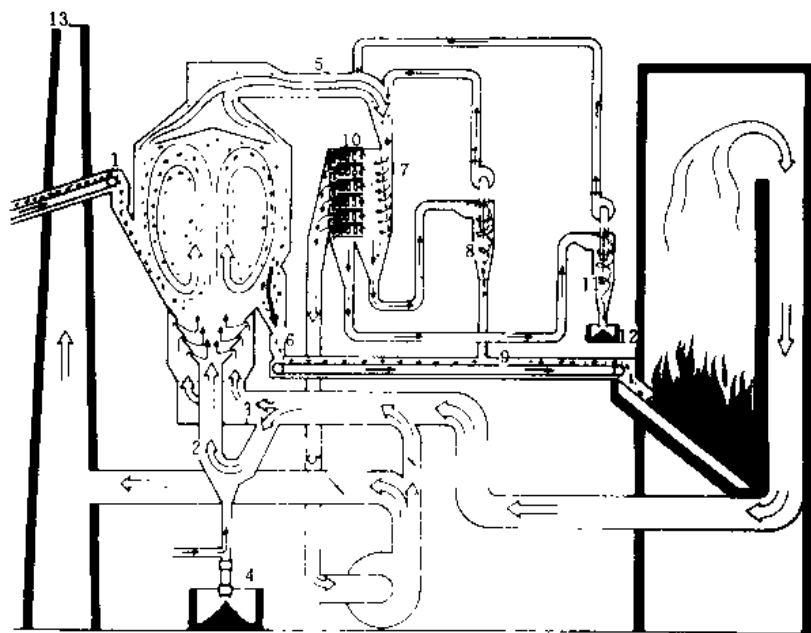


图 25-10 树皮干燥系统工程 (Bahco 工业公司)

- 1—湿树皮输送到干燥器 2 高速气流 3 主气流 4—砂石和碎片排除
- 5—气体和可燃性细末离开干燥器 6—干树皮送至锅炉 7—预收集器分离可燃性细末
- 8—预收集器来的可燃性细末进行二次旋风分离 9—可燃性细末与干树皮一起去锅炉
- 10—多个旋风分离器进行最终分离 11—从多旋风分离器来的飞灰进行二次旋风分离
- 12—飞灰从系统中排除 13—烟囱达标排放

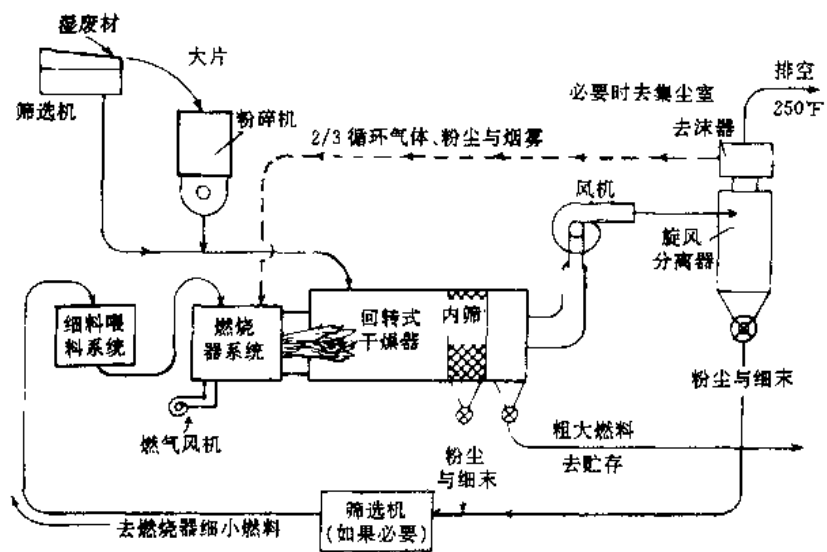


图 25-11 利用回转式干燥器干燥废渣燃料的系统图 (R. C. Johnson)

25.4 蒸汽利用

制浆造纸厂中蒸汽的用途有下列几类：

- 用于发电（主要是汽轮机），通常为背压。
- 用于加热，回收冷凝水。
- 用于加热，不回收冷凝水。

汽轮机发电是借一系列扩散步骤将高压蒸汽的潜能转变为驱动旋转设备的机械能。其主要原理示于图 25-12 多盘径流式汽轮机示意图中。图中蒸汽从中心依次按“向外—向内—向外”路线而流动。设计利用了大量小直径圆环，以保证渗漏面积小而效率高。

汽轮机的轴一般与交流电机相联接，以发出电力。汽轮机通常也用作高功率设备（例如碱回收炉引风机或造纸机）的直接驱动装置。汽轮机所发出的电量与入出口蒸汽的能量差成正比。

制浆造纸厂使用大量的电（或机械）能和低压生产用汽。因此，将高压锅炉蒸汽的压力降低到生产要求所需的水平而获取电能是很有意义的。一般是若干蒸汽在中压（例如 1.13MPa）状态从汽轮机抽出，而以低压（例如 0.42MPa）状态平衡。硫酸盐浆厂的能量系统如图 25-13 所示。相应的蒸汽数量取决于纸厂的需要，显然，使用较低压力

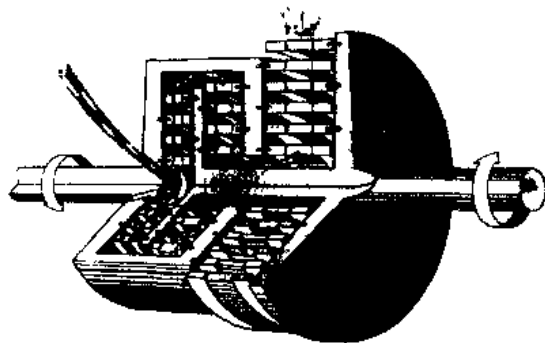
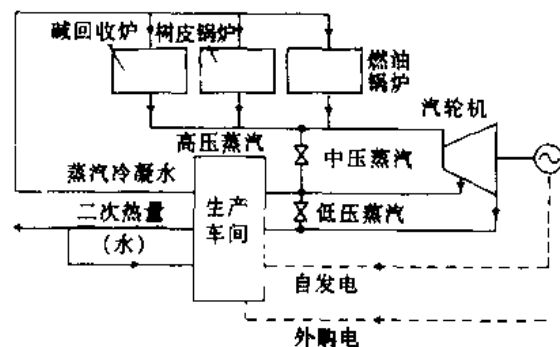
图 25-12 多盘径流式汽轮机
(Stal-Laval 汽轮机公司)

图 25-13 硫酸盐浆厂的典型能量系统

的蒸汽总是对发电有利的。如果蒸汽需要量正好与电力需要相匹配,这种汽电联合系统是很理想的。但在许多情况下,纸厂需要额外的电能,这一般就要从当地的电力公司购买。也可通过在动力锅炉产出比工艺生产所需更多的蒸汽并将蒸汽冷凝而获得额外的电力。虽然“凝汽式发电”在蒸汽量一定时所生产的电能比“背压式发电”要多,但前一种方式蒸汽中的潜热转移到冷却水而使燃料能的利用效率降低。两种方式的相应热效率比较示于图 25-14。

在典型的制浆和(或)造纸厂中,大约有一半的生产汽是间接地用于管束、烘缸和加热套管的。在这类用途中,所得冷凝水返回到锅炉间。冷凝水返回系统包含泵、槽、汽水分离器和管道的投资,但由于偿还了热量和节省了原水处理费,很容易证明是十分合算的。在那些冷凝水可能遭到污染的地方(例如蒸发器或黑液加热器),必须采取若干监控措施,以防止被污染的冷凝水回到锅炉间。

使用直接通汽,由于损失了冷凝水相对较不经济。但对诸如用于加热高浓度浆料或蒸煮淀粉液,从操作观点看是最合理的选择。而且由于不需要热交换器、泵和冷凝水回水管,直接通汽系统的安装费用始终比较低廉。

25.5 电力分配

制浆造纸厂生产用电一般是外购电与热力系统的自发电(见上节)相结合。少数几个幸运的工厂,电力完全自给,而许多小厂的电力则全部依赖当地电力公司的电网供给。

外购电力的费用一般根据三个主要参数:

- 峰值功率
- 负荷因数
- 功率因数

峰值功率是特定最短周期(通常是 10min)内所使用的最高功率。负荷因数是平均功率与峰值功率之比,一般以百分率表示。功率因数是衡量相外电流与电压交变程度的测量值,如果是相内,功率因素为 100%,但典型的工厂运行,功率因数为 92%与 95%之间。实际功率(瓦或千瓦)等于电压、安培数(即电流)与功率因数的乘积。

功率是被消耗的电能量。因此能量是(功率)×(时间)的乘积,一般以千瓦小时(kW·h)表示。平均功率可通过测量特定周期内的 kW·h,并除以小时而计算出来。因为峰值功率对外购电的成本有很大影响,通常希望将峰值控制在真正的最高值。在有多台磨木机的工厂,最佳做法是为了保持负荷控制,当峰值超过时,用一台或多台磨木机作为卸载装置。

一个有代表性的电力分配系统示于图 25-15。从当地电网来的入口电压可高达 115kV。

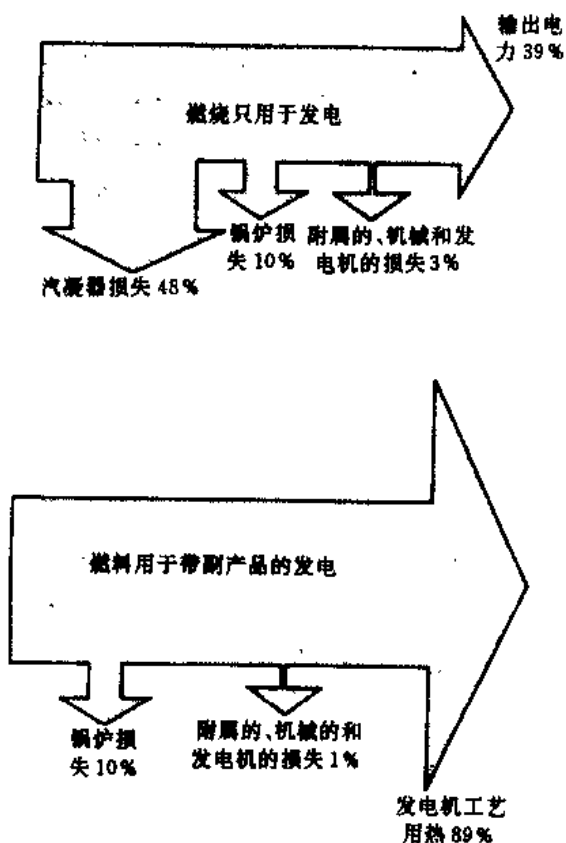


图 25-14 冷凝和背压发电的能量平衡

电力是在主变电站接收，一般利用变压器“逐级下降”到 13.2kV，以分配到工厂周围的变压器。进一步下降到工作电压是在使用点附近进行。最大的电动机（使用功率超过 1500kW）直接使用 13.2kV 电压；4140V 电动机用于中间容量，而 550V 电动机则用在低于 150kW 的容量。

25.6 能源管理

能源成本在制浆造纸中是一个重要因素，能源的最佳利用与节约对制浆造纸工业非常重要。为有效地管理能源必须考虑很多方面⁽⁵⁾：

- 可得能源的利用，包括代用燃料。
- 提高热效率（即从燃料获得更多可用能）。
- 只要有可能，回收和重复利用能源。
- 改进工艺以减少能耗。

计划一个新厂要根据成本效益的分析而且要相当简单明了。这样的计划要考虑到高成本能源以及成本的进一步提高和节能方面的要求。但对一个老厂而言，操作者仍可基于不同前提，受系统的制约（例如基于廉价、一次性使用的前提）。

在现有生产系统改进能量管理必须基于对生产过程和操作特性的确切表述。基本要求是作一个能量平衡（或“能量核算”），详细列出全部生产过程的能量输入和分配。然后研究分析这些物流，寻找出节能或降低能源成本的供选择工艺方案。

能量来源

石油和天然气的成本较高，而且这些燃料存在着短缺的可能性。过去 10 年来，工业上已从对石油的依赖明显地转向有效利用废液和木材废料，一如造纸协会对美国工业所作的调查数据所显示的（表 25-3）。有若干纸厂研究利用林区间伐材和林区“剩余物”。在某些情况下，还考虑以城市废料和干燥的泥煤作为潜在的能源。

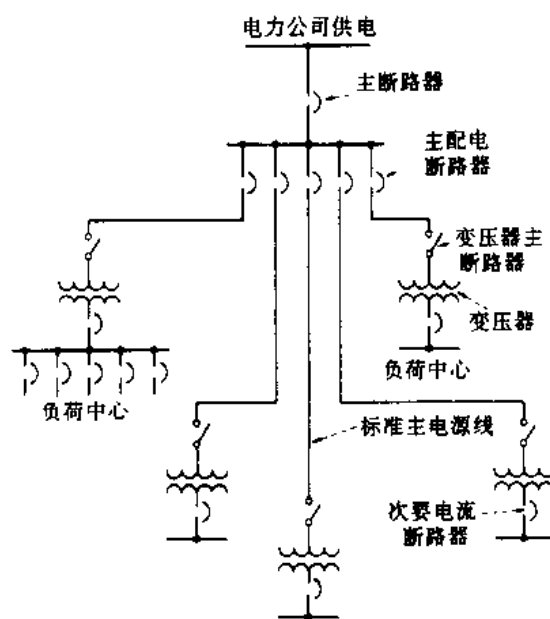


图 25-15 典型的配电系统

表 25-3 美国制浆造纸工业在 1972、1979、1990 年的估计能量来源（按百分数）

	1972	1979	1990
外购蒸汽和电	5.4	6.7	7.3
煤	9.8	9.1	13.7
燃油	22.3	19.1	6.4
天然气	21.5	17.8	16.4
木材废料	6.6	9.2	15.4
废液固形物	33.7	37.3	39.4
自发电	0.6	0.8	1.2

热效率

许多老厂都以远非当今最佳的蒸汽循环利用(指通过汽轮机)和产汽的设备进行操作。一般地说,较高的蒸汽压力和蒸汽温度对改进动力车间的热效率非常有利。但在一定的蒸汽循环界限内,则可通过限制锅炉损失、将背压控制在工艺需要的最低水平上以及最大限度回收冷凝水而加以改进。采用新型过程控制系统,很容易对锅炉系统进行全面的严格控制⁽⁴⁾。

减少损失和浪费

全厂能量平衡表示出,大部分能量是以相对不多的几个物流从工厂流失(如纸机干燥部排气、各种热废水)。根据简要分析,减少能量损失的最有用的举措是显而易见的。一般地说,纸机的排汽量得仔细研究,纸张干燥消耗过多的蒸汽并不罕见。对废水流而言,重点应放在减少用水量上,因为低用水量将大大减少需热量。纸机系统的封闭和漂白工段的逆流洗涤是降低用水量的两个切实可行的措施。

回收和重复利用能量

制浆造纸厂已经实行了高度的能量回收和重复利用,但在老厂仍有可能进一步改善。随着矿物燃料价格的逐步上涨,回收能量已显得有更好的经济效益。制浆造纸厂在废热回收设备上获得最好回报的区域是石灰窑成品冷却器、纸机废汽预热器、喷放热回收和漂白工段废水热交换器。利用锅炉排出的废气干燥湿树皮,已在25.3节中专门作了讨论。

工艺上的改进

看来似乎没有什么新工艺技术会给工业能源问题提供神奇的解决办法。在近期,制浆造纸厂将仍然使用已有的设备和工艺。虽然如此,有许多工序是可以设计或改造成较低能耗的。在这简短的能源管理讨论中,可举出好几个方面的例子。在备料和削片工段可发现一个最卓越的节省电能的设计例子,即用皮带运输机代替风送系统输送木片。根据一项资料来源表明,输送相同量的木片,皮带运输机电机消耗的电能大约只有风送机所需的1/8。

25.7 腐蚀的控制

腐蚀是每个制浆造纸厂中影响代价高昂的停机和设备更换的一个因素。多数金属部件由于生产过程中的化学性质,最终在使用中遭到毁坏。因为消灭腐蚀并不现实,最佳的工业措施是将它控制在允许限制之内。通过预先处理所存在的问题,以及在建设开始前提供合适的工艺设计和设备,有可能大大节省操作和维护费用。尽管如此,在工厂建成并运行时,总是会发生腐蚀问题的。

腐蚀是在材料与其周围介质起反应时所发生的损坏现象。虽然所有材料在某种条件下都有可能被损坏,但这里主要只集中讨论金属腐蚀的主要问题。

虽然许多制浆造纸公司都有专门人员协助处理具体问题,但控制腐蚀通常仍是工厂工程技术人员职责所在。工厂技术人员应有能力识别腐蚀、了解腐蚀是如何产生的以及有能力判断其严重性。他或她还应该知道使用什么检查技术并有能力解释和应用腐蚀信息。

腐蚀的形成

产生腐蚀有很多种形式,但一般按下列三个因素中的一个进行分类:

- 1、腐蚀是“湿的”还是“干的”。大多数腐蚀都是有液体或水分存在的,干腐蚀一般涉及与高温气体起反应。
- 2、腐蚀的机理,或是电化学或是直接化学反应。
- 3、腐蚀的外观,或普遍均布或是局部的。

局部腐蚀用放大镜或显微镜进一步分辨：在后者情况下，被溶解金属的数量很微小，在问题变得可用肉眼看出来以前可能发生很大危险。不同形式的腐蚀例子示于图 25-16 中。

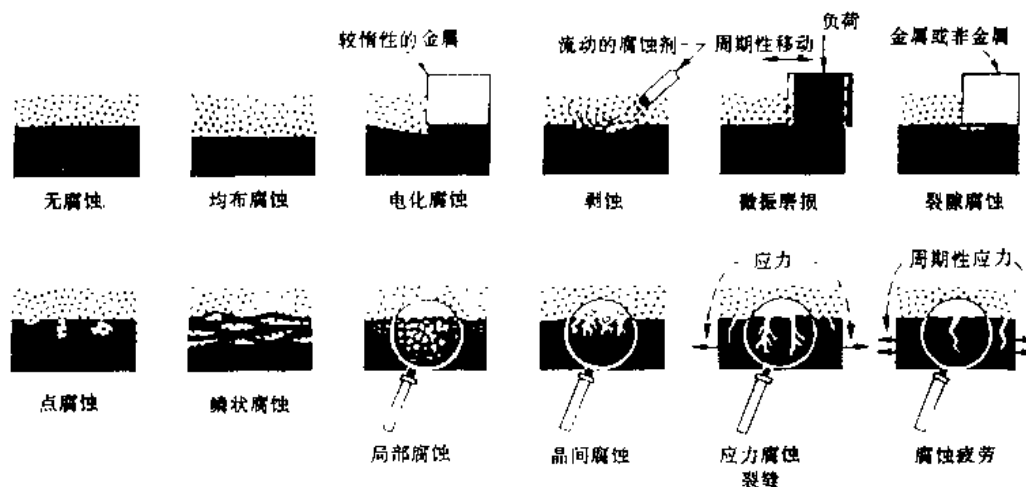


图 25-16 金属腐蚀的各种形态

大面积的均布侵蚀是腐蚀的最常见形态。审慎的材料选择和防护方法（例如各种涂层）可控制腐蚀。均布腐蚀是最容易判断的形态，定期检查一般有可能避免意外的损失。不同形态的局部侵蚀很难以预测和控制。

所有腐蚀型式都要关注，但今天必须把应力腐蚀裂缝和腐蚀疲劳的危险置于特别重要的地位。应力腐蚀裂缝是拉伸应力与腐蚀介质综合作用的结果。腐蚀介质对所述金属或合金往往十分特别，所产生的效应一般无法预测。应力则起因于冷作、焊接或热处理的残余应力，或起因于使用时的外加应力。

腐蚀疲劳裂缝是应力腐蚀裂缝的特殊型式，发生在周期应力条件下。在抗蚀条件下，周期性程度明显低于那些被认为是安全操作的场合，也可发生损坏情况。应力腐蚀和腐蚀疲劳裂缝可通过金属迅速传播，还逃过视力检查。正如其他细微局部腐蚀形态一样，金属也可显示完全正常，直至发生意外损坏。有许多压力容器和转动设备的突然毁坏是由应力腐蚀和腐蚀疲劳裂缝所造成。在制浆造纸工业中的锅炉、连续蒸煮器、纸机真空辊和盘磨机磨片，已出现了若干值得注意的问题。

某些细菌对纸厂腐蚀过程也起到作用，特别是那些代谢作用需要某种形态硫的好氧与厌氧细菌。这些细菌起了阴极的去极剂作用，被认为加速了电化学的腐蚀。不同种类的细菌可共居于真菌和藻类所营造的微观环境中。如果涉及到有细菌性腐蚀，除传统的控制腐蚀的方法之外，可能还需合用杀菌剂，表面活性剂和（或）加氯杀菌装置。

腐蚀检测

最理想的往往是进行腐蚀测定，以监控工厂中发生腐蚀的速率、评价材质方案或研究腐蚀的机理。最常用的测定方法是失重检测，即先将一个干净的试样称重，再将它暴露到腐蚀剂中一定时间，清洗掉腐蚀产物，并再次称重。在美国，腐蚀速率以 $\text{mil}/\text{年}$ ($1\text{mil}(\text{密耳}) = 10^{-3}\text{in} = 0.0254\text{mm}$ —译者注) 表示。

测定腐蚀的试样没有标准的统一规格和形状。常将它们称 $10\sim 50\text{g}$ 质量，最好有较大的面积—质量比。使用各种方法来支托检测腐蚀的试样，而评价抗电化腐蚀和裂隙腐蚀以及应

力腐蚀裂缝,则使用专门的装置。

腐蚀控制

基本上有四种控制腐蚀的途径:即从工程设计上、材料选择上、工艺变数控制和防护上。一些较常见的影响腐蚀的工艺变数列示于表 25-4 上。

一般地说,腐蚀随腐蚀剂浓度的增加而增加;但也不总是这样,腐蚀效应往往与浓度范围有关。pH 通常是个重要因素,提高 pH 往往有助于减少腐蚀性。有许多金属和合金是抗碱的,但容易被酸所侵袭。控制温度是减少腐蚀的一个重要方法。高温几乎总是增加腐蚀速率的。根据某项估计,纸机上浆系统的腐蚀速率,每升高 10℃ 就会加倍。

缓蚀剂是一种只要它在腐蚀剂中有少量存在就会减少腐蚀的物质。缓蚀剂按其成分(有机或无机)、作用机理(阴极或阳极控制),或形态(溶液或蒸汽)而分类。这种缓蚀剂有时控制腐蚀的效果很好,特别在相对封闭的系统中时。

通过施用外加电路,可控制各种型式的电化腐蚀。在有些情况下,可使用逆流(阴极保护)以免除腐蚀;而在另一些情况下,可调整金属的电位(阳极保护),这样金属仍受到侵蚀,只是要慢得多了。阳极保护已成功地应用于白液和绿液贮槽以及连续蒸煮器。

表 25-4 影响腐蚀的工艺变数

—腐蚀剂浓度
—pH
—温度
—杂质
—通风程度
—流速
—缓蚀剂

参考文献

- (1) MINER, R. AND UNWIN, J. Progress in Reducing Water Use and Wastewater loads in the U. S. Paper Industry *Tappi Journal* (August 1991)
- (2) SENDELBACH, M. G. Boiler-Water Treatment-Why, What and How *Chemical Engineering* (August 15, 1988)
- (3) DUNLAP, N. W. JR Circulating Fluidized Combustion Power Plant Technology of the Future-Today! Presented at 1987 TAPPI Annual Meeting
- (4) LIPTAK, B. G. Improving Boiler Efficiency *Chemical Engineering* (May 25, 1987)
- (5) MANNISTO, H. Mill Energy Audit Can Point Out Opportunities for Conservation *Pulp & Paper* (January 1981)

第 26 章 水污染治理

26.1 引言

现代制浆造纸厂的设计和运行上，一项重要考虑是尽量减少过程流失 and 处理好工厂污水，使它们对环境的影响最小，甚至做到基本上无污染。目的是为现有居民与后代的利益保护好环境质量。管理部门把对环境的关心转化为限制或控制工厂排放的特定标准。

在制浆造纸工业内部实施治理计划代价不菲，且明显增加运行费用；但有时这些费用也可借更好回收过程的纤维或改进节能而得到部分补偿。因治理污染而增加的成本通常被看作是生产必需付出的代价，而且以提高产品价格的形式转嫁给用户。对明显合理的三废治理可能很少会有争议，而且也没有负责任的代言人可能会主张对排放物的治理要有回报。但企业与政府机构之间关于为保护环境到底需要什么样的排放标准的争论还在进行着。

污染的定义

水污染的最佳定义是对若干有益用途的水状况的任何有害改变。在任何情况下，首先必须确定水的有益使用和影响这些使用的条件。然后才可以估计任何改变（即污染程度）的重要性。

对人而言，水的最高级用途是作饮用水。来自本地下水道的污染，将因沾染细菌而损害水的可饮用性。工业产生的污染物可能对饮用水的味觉与嗅觉有负面影响。在特殊情况下将遇到其他一些问题，诸如泡沫、放射性、毒性或重金属离子。

鱼的栖息地最经常受水中溶解氧减少或受水中毒性物质的影响。固体粒子的沉积物也可影响鱼群的生存能力。

用于工业目的的水根据具体需要而定。有些工业要求含悬浮物、有机物质或无机盐很少的高质量水。虽然入口原水往往都进行处理以除去悬浮物（参见 25.1 节），但其他类型的污染物可能更加麻烦。例如，可溶性有机物质（特别是带色的化合物）就可对各类工业用水有不利影响。

污染的法律上规定，在北美内部和全世界都有不同。有时，对公众压力的回应，导致很狭窄的规定，并在对工业排放的立法限制上显出不必要的严厉与理想化。过了一段时间后，常常发现，这种立法很难实施，改而实行考虑到经济因素和就地利用水体水的更实际的规定。基于工业排放水如何影响环境的现实估计的立法，通常对污染控制更为有效。

水体的特征

典型水体（例如河、湖、江湾等）的有关属性列于表 26-1 中。多数管理法令将这些特征稍加或不加改变地规定作为污水排放的结果检测指标。

溶解氧对水中鱼类和所有其他有用的有机物（包括那些担负废料同化作用的细菌）的生存是很重要的。当天然水严重缺乏溶解氧

表 26-1 水体水的特征

溶解氧
--pH
毒性
—悬浮物
--泡沫
—味觉
—臭味
—营养物浓度
—生产能力（微生物总数）

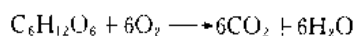
时, 它们支持生命的能力受到削弱, 它们可能由于厌氧微生物的作用而变得恶臭难闻。

在 20℃ 温度时天然水可能含有约 9mg/kg 的溶解氧。水溶解氧气的能力与温度成反比, 而且也受含盐量的影响, 含盐量上升时吸氧量减少。其相互关系列于表 26-2 中。氧气溶入水中主要是通过空气与水的界面, 传递速率取决于诸如表面搅拌和原始氧浓度等因素。浓度距饱和愈远, 吸收的推动力愈大。

表 26-2 在清水与中浓含盐水 (5g/L 氯化物) 中溶解氧浓度与温度的关系

氧浓度 / (mg/kg)			氧浓度 / (mg/kg)		
温度 / °C	清 水	含盐水	温度 / °C	清 水	含盐水
0	14.6	13.8	20	9.2	8.7
5	12.8	12.1	25	8.4	8.0
10	11.3	10.7	30	7.6	7.3
15	10.2	9.7			

在任何时候, 水中溶解氧的含量均代表很多因素 (诸如吸收作用、呼吸作用、光合作用和有机化合物分解作用) 之间的平衡。在有机废料被细菌和真菌“消化”时所需的氧是工厂污水排入水体时的主要考虑。实际上所有天然产生的有机物都可被发生在表面水中的组织所降解。最后这些化合物将被降解成二氧化碳和水。“简单化合物”如糖的生物裂解的化学公式表明, 每个糖分子为完全氧化, 需要 6 个氧分子:



生物降解作用经历数天和数周时间, 其速率主要取决于废水的性质、水温和氧浓度。相对较简单的可溶性化合物, 例如糖和短链乙醇, 消耗得非常快, 而较复杂的结构, 如鞣酸和木素衍生物, 则裂解得很慢。通常有机悬浮固形物降解相对较慢。

多数溶解氧浓度的测量方法是用电极仪器。这类仪器应定期用可靠的化学测试法 (如经典的 winkler 方法) 进行校准。

污染的测定方法

制浆造纸工业所考虑的水污染物主要种类有污水固形物、耗氧量、毒性和色泽。污水治理的努力通常集中在降低固形物与耗氧量上。所幸的是, 典型的工厂废水按传统规范毒性很低, 经生化处理后就基本没有毒性了。色泽只有在水体的稀释因子较低和光渗透对促进水系统中植物生长有充分影响时才作为考虑重点。

污水固形物的分类和测定方法详列于表 26-3 中。天然水的可沉降有机固形物特别有害, 因为它们形成了“污泥垫层”, 这种垫层使生活在水底的动植物消失, 并干扰鱼类的进食习惯。夹持在鱼鳃中的纤维或其他悬浮固形物可产生应力、二次感染以及有可能使鱼窒息。有机物在底部的积聚迅速使该处缺氧, 并使好氧有机体死亡。厌氧细菌和其他不希望有的生命形式占了上风并继续进行生物作用; 但其最终产品现在是甲烷和硫化氢, 这些气体以气泡形式散逸入大气。

污水流的耗氧量可用许多方式测定或估计, 其中有若干列于表 26-4 中。最广泛应用的测试方法是 5d 生化耗氧量 (BOD₅), 在此法中, 污水试样允许借微生物的作用消耗氧气。经典性的方法是测定原始试样与在 20℃ 保持 5d 后的参照试样的氧浓度, 其氧浓度之差即为 BOD。

因为原始试样只能保持 9mg/kg 左右的氧气, 污水必须适当稀释以使在测试期间耗掉的氧气不超过 7mg/kg 以上 (即耗掉 70%~75% 左右)。

表 26-3 污水固形物的定义和测定方法

总可溶性固形物 (TDS)	测定方法是经过滤的已知量污水试样蒸发至干, 并测定残余物质量
总悬浮物 (TSS)	测定方法是测定一张滤纸在滤过已知量的污泥水试样后所增加的干重
总固形物	悬浮与可溶性固形物之和 (上述两项测定值相加; 也可通过将已知污水试样蒸发至干并测定干残余物的重量而获得)
可沉降固形物	— 悬浮固形物的在一定时间 (通常为 1h) 后将沉淀出来的部分
可漂浮固形物	— 悬浮固形物的漂浮在表面上的那部分
不可沉降的固形物	悬浮固形物的不沉淀又不漂浮的那部分, 通常为胶体或接近胶体大小
易挥发固形物	任何上述各类在 600℃ 蒸发的固形物 (估计为有机物)
不易挥发固形物	任何上述各类的经 600℃ 灼烧后作为残余物留下的固形物 (估计为无机物)

表 26-4 耗氧测试法

代 号	名 称	测 定 法
BOD ₅	生化耗氧量	微生物消耗的氧
IOD	直接耗氧量	强化学还原剂 (如二氧化硫、硫化物和连二亚硫酸盐) 所消耗的氧
COD	化学耗氧量	直接化学方法测定需氧量, 通常使用重铬酸盐或高锰酸盐
TOD	总耗氧量	用仪器方法测定可氧化物质的总量
TOC	总有机碳	用仪器测定可氧化的碳量

生物化学的氧化作用是一个缓慢的过程, 要完全裂解可长至 100d。但对大多数污水而言, 已显示有 60%~70% 的氧化作用发生在开始 5d 内。如果进行得恰当, 5d BOD 的测定即可很好表示出污水有可能会给予任何天然水体氧平衡的影响。但是必须强调指出, 不要简单地应用 BOD 的数据, 还必须了解水体的状况 (例如温度、自然通风程度等) 以预测污水的影响。

由于 BOD 的测试工作需要 5d 的时间, 很多人把兴趣集中在快速提供试验结果的方法研究上, 已经开发出了许多相关的利用化学和仪器的方法, 其中有若干列示于表 26-4 中。但在 BOD 与任何其他的一些测试之间并没有内在联系, 其例证如 BOD 与 TOC 数据的关系, 示于图 26-1。对某些特定的污水, 已发现有较好的相关性 (例见图 26-2), 但迅速表示出一个或两个污水流的特征, 并不能为控制工厂治理设施的操作提供依据。

现已开发出了与 BOD₅ 测试很好配合的可靠的生物传感仪⁽¹⁾。这种仪表的心脏是温控生物反应器, 在反应器内的数千个小塑料环

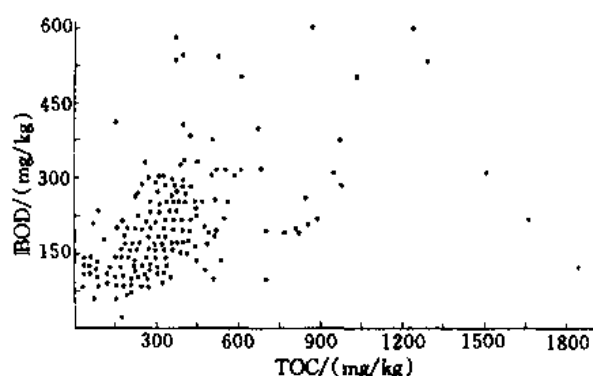


图 26-1 取自 7 个漂白硫酸盐浆厂排水口混合试样的 TOC 与 BOD₅ 关系图 (Howard & Walden)

上逐渐生长出生物群 (biomass)。这些小环利用循环泵保持固定的湍动。有一个双泵系统以恒定速率将经稀释的废水送入生物反应器,并以等量向外排出。反应器中的生物群以被测试水流中的营养料为食,从而消耗掉氧气。反应器入口和出口水流的溶解氧测量值输入到系统计算机。计算机又利用两台计量泵,通过使入口和出口水流间的溶解氧之差值维持在 3mg/kg 而控制稀释比。计算机根据所需稀释比计算出 BOD 值。

如上所述,制浆造纸厂的污水毒性并不是很大的。但有许多制浆污水的成分发现是有毒的(如树脂酸、不饱和脂肪酸、氯化有机酚),需要定期检测以保证经处理的污水毒性在规定的限度以内。为此,通常进行生物试验,即将小鱼(或其他合适的水生动物)暴露到已知浓度的污水中,在一段时间(一般为 96h)后测定其生存率。

传统毒性检测的主要局限性是只发现严重有致命影响的毒性。现不考虑长时期对生长和繁殖有尚不致命的累积性影响的毒性,又不考虑废水的潜在致变和致癌性。管理部门现在对无致命影响的毒性非常重视,并进一步强调,很可能要消灭和除去诸如氯化二噁英和呋喃等著名污染物(见 11.3 节)

处理形式——概述

改进纤维留着率和在厂内更好地使用原材料是减少或控制工厂排放物的有效方法。纤维和碱是污水中的致污物,但这些成分也代表工厂宝贵财富的流失。因此,加强生产过程管理的所有措施都具有降低原材料成本和减少污水负荷的双重效益。

也许减少厂内流失唯一最有效的措施是循环和重复使用工厂的生产用水。近几年来,制浆造纸厂所消耗的水量已大幅度下降。虽然这个趋势将持续下去,但温度和杂质的积累起了最终限制“封闭”程度的作用。除了减少致污物的数量外,减少污水体积也有利于以后的厂外处理。

厂外处理一般是利用沉淀以除去悬浮物(一级处理)和利用生物氧化以除去 BOD(二级处理)。离开工厂前,各种污水应根据需要进行分流。有些污水只需一级处理;另一些只需二级处理;而少数污水则在排放前必须进行一级和二级处理。

任何一级和二级处理以外的处理,一般都称为“三级处理”。有时二级处理后的澄清段称为第三段,但这个术语并不常用。也许惟一名正言顺的现在在少数工厂实行的三级处理是为了除去污水的色泽。

26.2 污染物的来源和厂内治理

在制浆造纸综合厂中,污水中污染物的主要来源如下:

- 用于木材处理与剥皮以及木片洗涤的水。
- 蒸煮器和蒸发器的冷凝水。
- 来自筛选、净化和浓缩的白水。

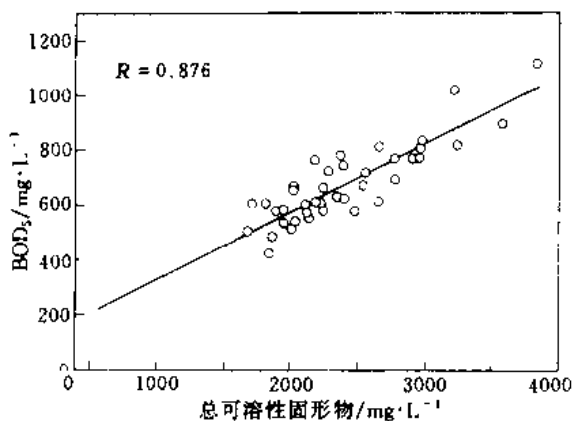


图 26-2 一组脱水机滤液试样的总可溶性固形物与 BOD_5 关系曲线图 (W. D. South)

的适用技术 (BAT)” 相对应的第二个目标水平。考虑到对当时工厂的设备配置和设计有更大的可操作性, 污水限制标准规定新建厂一般要与 BAT 相类似。表 26-5 示出了原先的 BPT、BAT, 以及新建厂污水限制标准的典型对照值。虽然以后又修改法令, 延长了达标的截止期, 但大多数美国厂家在 1992 年大概就都处于或接近于 BAT 水平。

表 26-5 EPA 规定的污水限制标准, lb/t 产品 (30d 平均的最大值)

	5d BOD			悬浮固形物		
	BPT	BAT	新建厂	BPT	BAT	新建厂
未漂硫酸盐浆	5.6	2.7	3.1	12.0	3.7	7.5
商品漂白硫酸盐浆	15.8	7.1	5.3	31.7	5.2	5.8
商品漂白亚硫酸盐浆	41.7	20.1	9.3	53.3	6.9	5.8
废纸制纸板	3.0	1.3	1.5	5.0	1.6	4.0
非综合性高级纸	8.5	2.7	2.7	11.8	1.4	2.8

早在 20 世纪 80 年代, 法规的范围就扩展到包括重点污染物控制的 BAT 准则, 从而将注意力集中于著名的毒性物或亚毒性物的影响上。许多特殊化合物均可在相当低的浓度下被检测出来。这些化合物有许多是氯漂过程的副产物。最近 EPA 又扩大了重点污染的名单, 并规定了一个称之为“最大可获得的控制技术 (MAT)” 的新目标水平。

涉及环境保护的美国联邦法规似乎每 3 或 4 年修改一次。保持当前立法先进性和 EPA 政策指导的这项工作将是对工厂管理人员和技术人员的经常性挑战⁽²⁾。在许多情况下, 专家们可能愈来愈需要在达到合格的方案方面取得帮助。

在加拿大, 要保持环境保护方面的先进性同样很难, 联邦和省政府都积极活跃在环境管理的前沿⁽³⁾。在联邦范围, 制浆造纸厂从属于渔业法令的一般污染控制条款, 和在该法令下颁布的污水条例。此外, 每个省都有它自己的环境立法。所不同的是, 省立法几乎都不包括空气污染控制方面的责任和权力。虽然重叠的权限有时已导致相互矛盾的要求, 两级政府的行动一般还是协调的。多数情况下, 其对污水排放的要求跟美国非常类似。

在美国和加拿大的水质规定一般利用许可证制度进行管理, 它通常是普遍适用的, 但也考虑到区域的特殊性。对环境条件很敏感的地区可能给予更严格的限制。同样, 证明在水体中测不出什么有害影响的地区, 可容许对工厂的排放不甚严格, 或完全合格的地区则可允许更宽松些。从相关污染控制的代价的观点, 整个工业的标准是公平的。但必须承认, 水体的消化能力在各种情况下是不同的。

26.4 环境监测

与政府规范是否符合, 是工厂环境监测计划最明显和立刻应优先考虑的事情。其他的任务还包括进行各个处理段的检查、测定污水排放对水体的影响以及收集过程控制的资料。监测通常围绕采集全部数据的努力, 包括取样、测定流量、测试和分析。

任何监测作业最精确的部分一般是分析实验室, 而最不精确的部分 (此部分往往被忽视) 是取样。在任何应用中, 应该仔细评价所推荐的从废水流中采集代表性试样的取样装置的性能。实际上, 已发现有 30% 以下存在于取样装置与取样方式之间的易变性都与浓度和流

量的波动有关。注意适当选择和安装取样装置,以及仔细计划取样程序对增加所采集数据的可靠性和准确性将是很重要的⁽⁴⁾。

工厂污水所需的最低限度信息包括每个部门的用水量、各个排水沟的流量、每个主要排水沟的悬浮固形物、可溶性固形物、BOD、pH值和毒性影响的分析数据(如果可用)。对处理设施而言,必须知道悬浮物和BOD的人口负荷,以及处理后的相应值。当然还必须仔细监测在排放口混合污水的所有相关性能。

工厂污水对水体的影响必须通过现场调查(包括在排水口附近和距厂址不同位置的取样)加以确定。在湖泊或海域情况下取样站设于污水排放口的辐射区,并以未受影响区为对照。在河流情况下,取样站每隔一定距离设置于工厂下游,并以厂址上游为对照区域(参见图26-4)。

对水体水进行传统的物理和化学测试,只能得出暂时的短期数据。为了获得长期影响的数据,必须做生物监控。考察一个有代表性的水生动物居住区可获得对环境质量和工厂污水影响的更全面的了解。

实行生物监控可有多个途径。其中一个方法是沿河床或水体的底部在几个选定的地点设置一个人造基地,以反映动植物生长环境或污水浓度的变化。在未受污染的水中,这些基地将很快地被大量各种各样的居于底部的无脊椎动物所栖息繁殖。在有毒性物质的情况下,其种类数根据其对污染物的敏感性或耐受性而逐渐消减。通过评价不同基地的生物多样性,生物技术人员(或基地培养的技术人员)就可监控环境的变化和推测对整个水体的影响。

26.5 一级处理

一级处理通常是指从工厂污水中除去悬浮物的方法。在制浆造纸工业中,固形物的除去总是伴随着若干BOD与毒性的降低;但后面的这些污染物一般必须借生物处理(即二级处理)进一步降低。

筛选经常作为第一道工序以除去污水中较大的漂浮或悬浮粒子。有时其目的是从污水中回收纤维再返回到生产过程中去,同时降低主澄清段的负荷。一个用于此目的的重力筛示于图26-5。由于固形物的堵网或塞网作用,要使用细筛更彻底地除去悬浮固形物是不现实的。

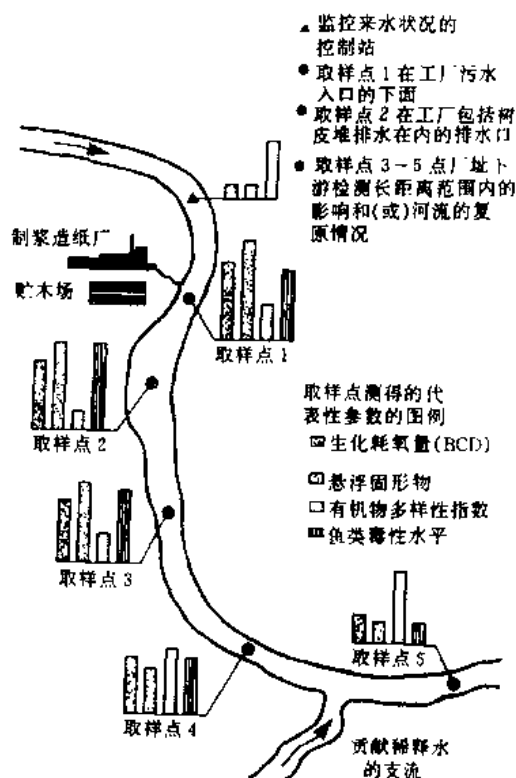


图 26-4 河流系统的综合监控程序举例
(K. Schiefer 和 D. Lush)

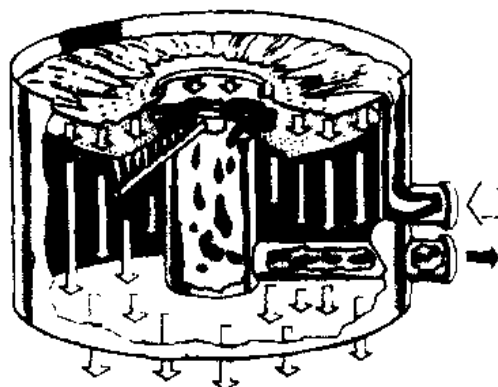


图 26-5 筛选机操作示意图
污水径向往中心流动,并穿过筛板孔眼。
停留在筛板上的纤维被旋转喷水管顶起,
漂至中心出口处(AES)

在制浆造纸工业的一级处理中有两种主要方法,即重力沉降法和溶气气浮法。沉淀或重力沉降应用最普遍,因为它对流量和固形物浓度的变动比较不敏感,而且不需很多照顾和维护。气浮法固形物的效果更好,但操作费用较高。

沉淀

沉淀可在任何有充分沉降时间的水池或水槽中进行。通常这种设备都选择大型圆形的采用机械清洗的澄清器,示于图 26-6。不管如何设计,沉淀装置必须提供一个静止流动的充分时间以便有一定百分比的沉淀固形物能沉降到池底。在机械清洗式澄清器中,通常利用中心安装的污泥刮料器将固形物耙至中心槽。根据固形物特性,下流的固形物以 15%~6% 浓度,泵至任何地方。

澄清器内在设计和操作上可确定为四个功能区:

(1) 入口区,当污水从给水井移动进入沉降区时,需要稳定的径向流动,入口区为进口污水提供平滑的过渡。

(2) 沉降区,为沉降和浓缩提供面积和深度而又不干扰其他区。

(3) 出口区,当它离开沉降区并越过排水堰时提供平滑的过渡。

(4) 污泥区,接受和除去沉降物料而又不干扰沉降过程。

澄清器实际上执行两项功能:澄清经过它的液体和浓缩固形物。澄清作用主要是澄清器面积的函数;典型的表面负荷为 $32.6 \sim 40.8 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m}^2)$ 。浓缩作用更是澄清器深度的

函数;通常建议澄清器直径范围 9~20m 时最低深度为 3.4m,而槽直径大于 61m 时,其最低深度为 4.6m。底部向中心倾斜度通常为 1:12 以便有助于污泥的排除。

澄清器的设计不能只根据理论计算。为使澄清器的规格合适,对特定的被处理废水必须测定其沉降速率方面的数据。尽管如此,更好地了解影响沉降的因素也可有助于优化任何澄清器的运作⁽⁵⁾。沉淀理论显示,沉降不仅受粒子密度的影响,而且还受粒子形状与大小的影响。因此,如有必要,可在污水中加入凝聚剂或絮凝剂以增加粒子大小,从而增加沉降速率。因为不能沉降的固形物也可通过絮凝作用而沉降下来,所以通过加入助剂有可能大大提高悬浮固形物的去除效率。

利用在沉降区安装斜管或通道,也可得以提高澄清器的效率或增加生产能力。这类辅助装置的作用是有效地增加输水通道,同时实际上消除了对流作用。

气浮澄清器

溶气气浮作用是除去固形物的一个方法,其原理是细小气泡粘附到悬浮粒子上,从而降

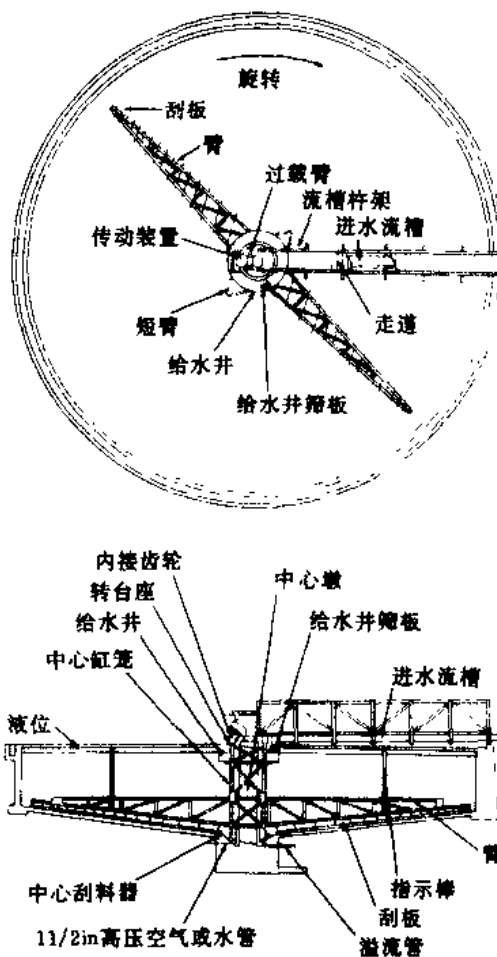


图 26-6 圆形机械清洗式澄清器
(Dorr-Oliver 公司)

低了各种粒子的密度,使它们浮至表面。被分离的固形物然后形成一个由固形物与气泡组成的漂浮层。在漂浮层被撇走以前,由被挟带的空气所施加的漂浮力也起到了将固形物体积压小的作用。

空气通常被引入到带压混合室的入口废水中。随着污水进入不带压的气浮装置,过饱和的溶液就以极细小气泡的形式释放出空气,空气粘附在悬浮粒子上。为使气浮装置取得最大效果,必须与空气一起加入絮凝剂(诸如明矾)。

气浮式澄清器的新近设计示于图 26-7。该装置的特征是有一个废水的带挡板的流水深井。空气在井底一侧的出气管喷出,部分空气因液压作用而被溶解。不溶空气逆着下行水流上升,对水的饱和作出贡献。在井另一侧的上升水流,因此被空气饱和而没有不溶解的气泡。随着静水压的下降,就从溶液中释放出微细气泡,并粘附到悬浮物上。

气浮法可获得直到 98% 的高水平悬浮固形物除去率。但由于空压机用电和絮凝化学品的较高成本使得这个方法一般用得较少,除非需要高效率或场地受到限制。在制浆造纸厂内,气浮分离技术更普遍地应用于白水的澄清(参见 16.7 节)。

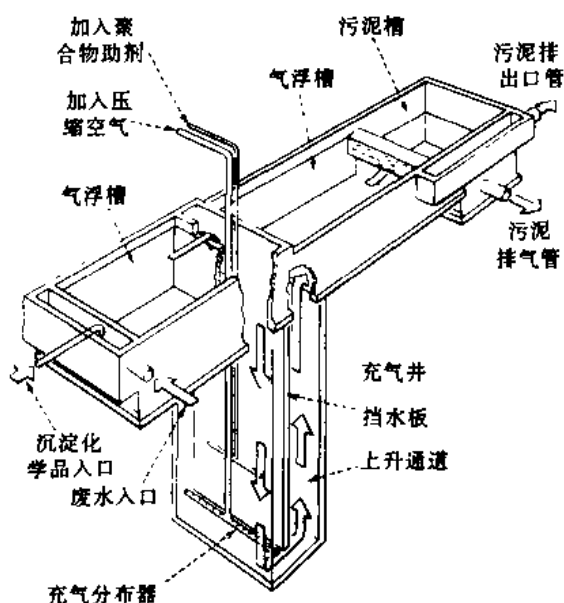


图 26-7 气浮澄清器特征是有有一个溶解空气并逐渐从溶液中释出空气的流水深井 (Environmental Systems Div., AB Electrolux)

26.6 二级处理

二级处理或生物处理只不过是天然自我净化过程的再现,除了它是在封闭和受控状况下进行外,且通常反应速率较快。

在曝气情况下,微生物(多数是细菌与真菌)消耗氧气而将有机废料转化成二氧化碳和水的最终产物。多数生物氧化过程的一个重要特点是提供充分的通风和混和条件以防止演变为缺氧状况。实行好氧生物氧化有各种方法,根据污水特性、可由用于厂外处理的场地面积以及所需除去 BOD 的程度而定。每个方法都与支持专用微生物的可存活密度有关。有时,必须加入营养化学品(含氮和磷的)以促进代谢作用的活力。

厌氧消化分解法常用于生活废水的处理,这种方法在 20 世纪 80 年代前并不经常用于制浆造纸工业。然而在 20 世纪 80 年代,由于减少过程耗水量以及机械浆与二次纤维制浆系统得率逐渐增加的趋势导致了废水浓度的增加,从而更适合于厌氧处理。在分子氧缺乏的环境中,厌氧微生物占据优势并利用了化学结合氧。厌氧法的最终产物是还原性化学品,例如甲醇和硫化氢。在许多高含硫量的废水不用厌氧法处理有所放宽的同时,现在似乎有些无硫制浆的废水可用此法处理而在成本上比较经济。

好氧生物氧化的生物群——时间曲线示于图 26-8。开始由于不加限制的食物供应,细菌的生长只受微生物再生能力的限制。在这初期快速生长阶段,大量的可溶性 BOD 转化成“生物群”(即微生物及其代谢副产品),而小部分则氧化成二氧化碳和水。依赖特定微生物的呼吸作用,该“生物转化”能将 30%~70% BOD 转化成不溶性物质。随着食物源进一步受到限

制，生物转化的速率变慢。当食物源几乎耗尽时（内因期），细胞群利用其贮存的食物源（借内部呼吸的自我氧化）维持生存。通常，所谓的“高速率”生物过程，是利用生物转化以及随后的去除生物群而去除 BOD 的。延续处理则由于更充分的氧化作用去除 BOD。

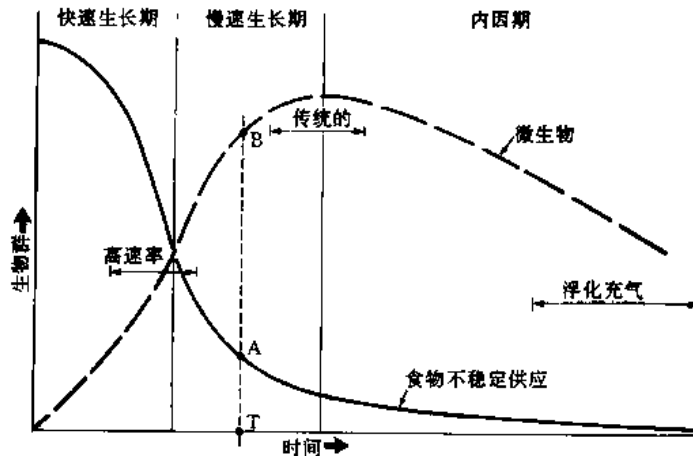


图 26-8 典型生物处理的生物群——时间关系

最简单的好氧处理形式是氧化塘，它依赖自然方式使空气扩散入污水中。该系统用面积很大的浅池子。如果深度超过 0.9~1.2m，厌氧微生物在最下层就会很活跃。用这种方法可大幅度降低 BOD 而操作或看管要求又不高，但必须有很长的停留时间，很少有厂子能用得起这么大面积的土地。一般需要 30d 停留时间以除去 85%~90% 的 BOD。每天处理每百万加仑的污水必须有约 20 英亩的氧化塘（即约 3.2 亩/（1000m³·d））。

曝气塘

曝气塘（图 26-9）利用各种型式连续机械曝气机或扩散机（图 26-10）使大量的氧气溶入污水中。由于在污水中保持较高的氧浓度（至少 0.5mg/kg），生物活动能力相对较高，典型的停留时间为 3~5d。因曝气作用提供持续的搅动，曝气池的深度也可增加到 7.6m 以上。所以曝气池所需面积远远少于简单的氧化塘。设计和选择适当规格的空气扩散或表面搅拌器系统，只是了解氧转移原则再加上若干普通常识的问题⁽⁸⁾。

在有可用场地时，曝气塘一般是生物氧化的最佳方法，特别是在 BOD 浓度较低的大容量废水时。该方法对负荷变化较宽容，一般产生的生物絮凝块残余物不多。投资和操作费用通常为活性污泥系统所需的一半。

活性污泥

活性污泥系统（简示于图 26-11）是最普



图 26-9 在西弗吉尼亚州 Everett 市的 Weyerhaeuser 纸厂的曝气塘，利用 27 个 29.8kW 的曝气装置停留时间为 5d（Aqua Aerobic System）

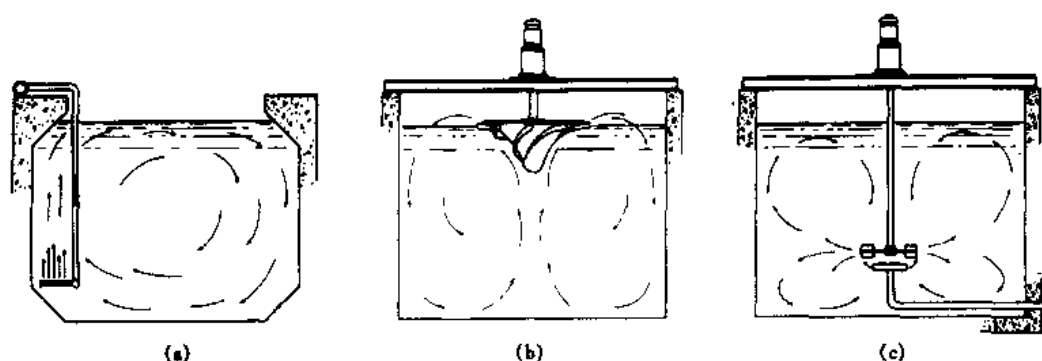


图 26-10 流动模式图解

(a) 空气扩散 (b) 机械曝气 (c) 湍动与扩散环综合系统

遍的高速率处理方法，而且最常用于无法获得建曝气塘的土地时。其基本特征是在曝气池或混和室中，微生物絮凝块的发展抑制了悬浮作用。将经澄清的废水连续送入该池（通常规格为停留 3~8h），活性污泥随着可溶性有机废料的代谢作用而增加。同时，污水又连续地排往澄清装置以分离固形物。这些固形物的一部分又循环回到曝气池以提高池内絮凝块的密度，其余部分浓缩并用以填地或用焚烧办法加以处置。

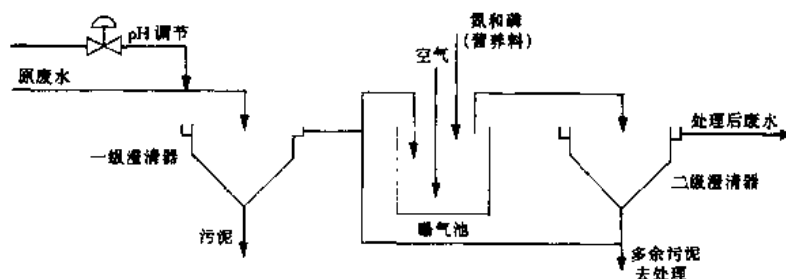


图 26-11 活性污泥法示意图

与曝气塘比较，活性污泥有若干优点。此法对改变废水性质很敏感，pH 必须小心加以控制。所需的营养料较高，为了在排放前更好澄清外排的水，一般需要用沉降助剂。如果工厂因某种原因停产，在停产期间系统必须有贮备供水以便在生产恢复时保证有能存活的有机物密度。活性污泥系统一般需要有更多的看管和较高的操作水平以维持其运行。

生物过滤器

在生物过滤器系统中也可获得“高速”处理。生物过滤是一种有空气存在的情况下，促进自由流动的废水与固定生长的微生物之间接触的技术。这种系统不是常规意义的那种过滤。

在传统的滴滤器（图 26-12）中，微生物是在诸如碎石或塑料块粒上培养的。废水经过滤床下流并与微生物层（菌胶团膜）相接触。整个系统有空气自由通过以保持一种有氧状态。微生物消耗废水中的可溶性有机物部分，首先生产出新的细胞组织（生物群落）。最后，细胞组织达到临界大小，并坍塌下来随同出口水流进入后面的澄清工序。

生物过滤器系统（诸如滴滤器）通常已证明是不适用于制浆造纸废水的，废水的波动甚至显示出比活性污泥系统更不稳定。但是转盘系统（生物过滤器的较新设计）已在许多废水

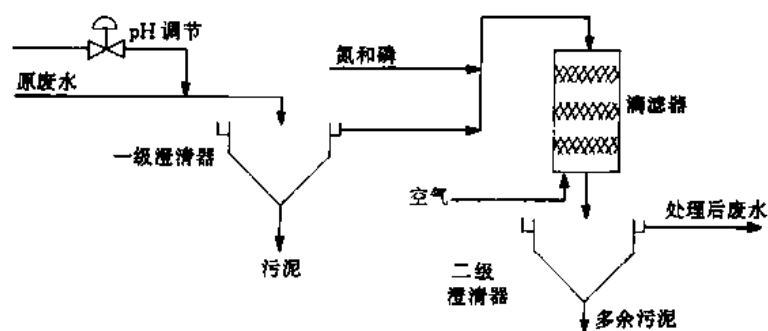


图 26-12 滴滤器二级处理系统示意图

处理上获得成功，似乎可以考虑进一步应用。在该系统（图 26-13）中，微生物生长是在盘面上培养的。一组密集的波形塑料盘固定在一根转轴上，并支撑在一个浅槽上，废水以一定速率流过。每个圆盘下部有 30%~40% 没入到废水中，而上部则露出在空气中。微生物生长区就这样交替地没入废水中吸取食物和曝露到空气中起氧化作用。可以用任意数量的转盘装置串联起来以获取所希望的 BOD 去除率。

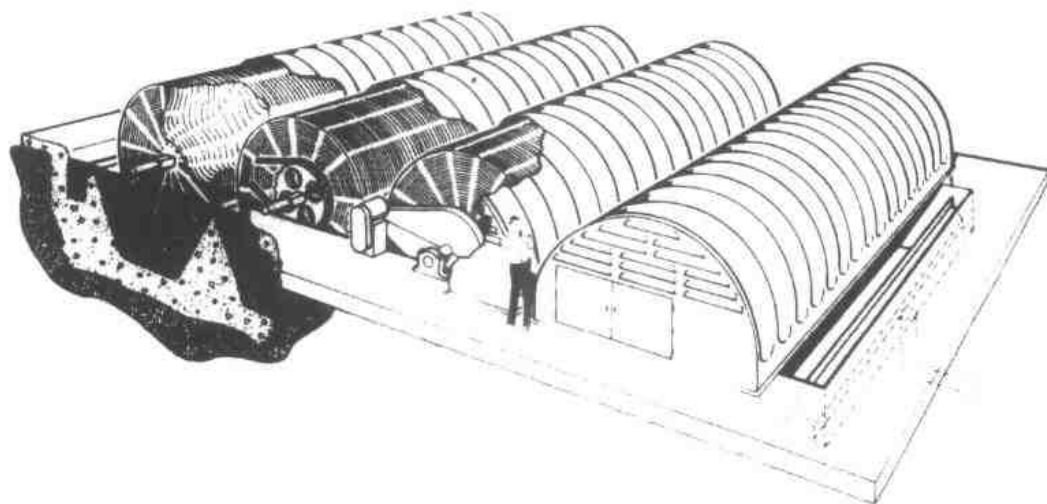


图 26-13 生物转盘过滤器装置

26.7 脱色

制浆厂污水的棕色源于木材处理、化学制浆和漂白作业，还由于存在着鞣酸和木素衍生物的缘故。这类化合物的生物降解很慢，通常传统的二级处理作用不大。改变工厂的设计（如取消湿法剥皮、改革漂白工艺）已成功地降低了污水的颜色，但在水体稀释因子较低的地方问题还比较严重。

在厂外处理中采取了许多措施，包括加石灰、明矾或聚合物的凝聚法、薄膜渗透法、活性炭吸附法以及通过土壤层的过滤（“快速渗透”）等。这些方法提供了不同程度的脱色，但各个方法的处理费用都较高。正在继续研究更经济的脱色方法。

最普遍的脱色方案是利用石灰凝聚，它又有好几种不同方法。图 26-14 示出一个代表性方法。这里，在一级澄清器前，将石灰加入到废水中，它大大提高沉降速率并去除不少颜色。将

从澄清器溢流的水碳酸化（利用石灰窑烟囱排气中的 CO_2 ）以沉淀残余的可溶性石灰和颜色，然后再次澄清。从两个澄清器出来的石灰泥浆进行浓缩并重新在石灰窑中焙烧。

凝聚法现在更多地用于二级处理后的废水中，因为这样脱色更为彻底。还已发现，生物法本身产生了额外的颜色。

快速渗透似乎在有合适地形和亚层土(subsoil)特征的工厂所在地,是脱色的一项很好选择⁽⁹⁾。在该法中,废水在到达水体前经过疏松亚层土的渗透。颜色吸附和沉淀饱和,必须间断地向许多洼地排放,让吸附

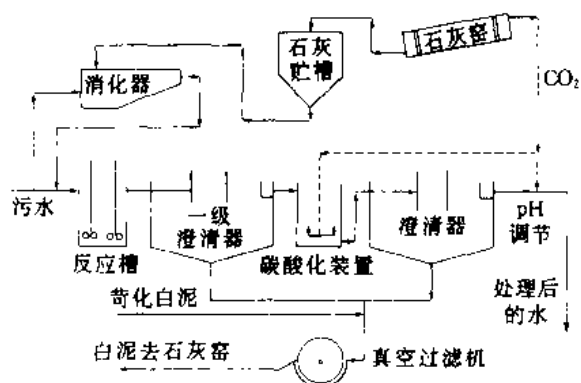


图 26-14 脱色用的石灰凝聚系统

前经过疏松亚层土的渗透。颜色吸附和沉淀到土壤颗粒上而被除去。由于土壤层会很快地被饱和，必须间断地向许多洼地排放，让吸附表面有足够的时间再生。

26.8 固形物处理

从一级处理和（或）高速生物处理的澄清池中来的泥浆在最后处置（或填地、施加于土壤或焚烧）前必须进行浓缩。在 20 世纪 60 和 70 年代，是以两段法进行脱水，即以过滤或离心法作为一段（直至 15%~25% 固形物含量），以后再用 V 型压榨机或螺旋压榨机压榨以获得最终 35%~40% 的固形物含量。新一代的设备则有可能将污泥一次性直接浓缩到 40%~45% 固形物。

过去, 20%固形物含量的污泥, 从某些用途来看似乎已可满足要求。但对固体废料的管理要求废料有更高的固形物含量。这样做有许多潜在的好处:

- 减少体积和运输费用。
- 更容易处理。
- 作填地用时减少对环境的影响。
- 焚烧时提高热值。

根据污泥原始固形物含量和脱水特点，选择适当的脱水设备。通常一级处理的污泥相对容易脱水，而生物处理污泥则非常困难。常用办法将难脱水的污泥与易脱水混合起来处理；有时加入树皮或锯屑作为过滤助剂。最近化学工业已开发出了协助絮凝和脱水的聚合物助剂。

传统的真空鼓式过滤机由于过滤机网逐渐堵塞,应用已比较少。另一方面,连续圆筒带式过滤机(示于图 26-15)已获广泛应用,因为网带移离圆筒,在外面用高压水将两面喷洗干净,可解决堵塞问题。

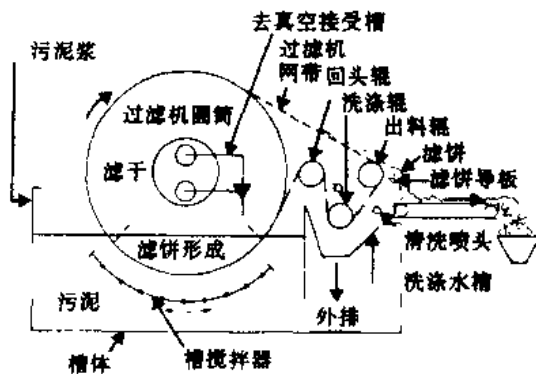


图 26-15 浓缩污泥的真空带式过滤机

水平带式压榨机也是一种污泥脱水的常用装置。目前设备供应商可提供不少设计型式,图26-16示出一种型式。所有的设计型式均利用两张交汇的网带封闭住滤饼,并行经一系列逐渐增加施压的辊子装置。在网带交汇前,通过下带脱去一部分水。

最新的污泥脱水装置示于图 26-17。脱水装置采取两级处理以压缩污泥。污泥首先进入用作重力浓缩机的立式锥形槽。浓缩后的污泥接着进入脱水压榨段的水平螺旋挤压机。水通过筛网在两个点挤压集中于一个装有阀门的出口管。生成物的干度通过调节出口压力和改变聚合物的加入量控制在一定程度。

填地

填地通常是废弃污泥的最终处置方式。虽然焚烧常常是值得做的,但它更多的应视为是一个减少容积的步骤。一般说,燃烧污泥的热值很低,污泥与废燃料或树皮的混合物对产汽能力有不利影响。

与填地有关的主要环境问题是将对土地和地面水的潜在渗透污染。这种担心已促使需有渗滤控制和地面水监控的政府规定。虽然美国联邦政府已制定了固体废料处置设施的标准,而州管理部门主要是负责制定和实施具体细则⁽¹⁰⁾。通常在诸如湿地、洪水泛滥区、水库区和很重要的动植物生长区等区域是禁止的,且在所有区域都实行较严格的控制。至少,填地设计将要求遵守当地特定的水文学条件。有些州要求使用带渗滤水集中和处理设施的双层衬里的填埋方式。未来填地的更高成本将鼓励工厂努力去减少固体废料的排放量。

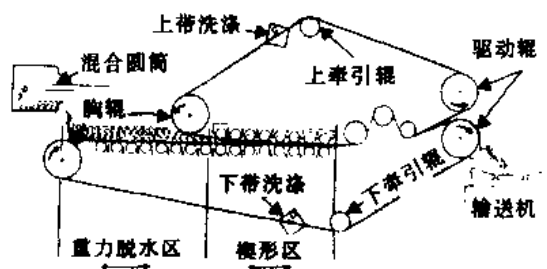


图 26-16 污泥脱水的水平带式过滤器

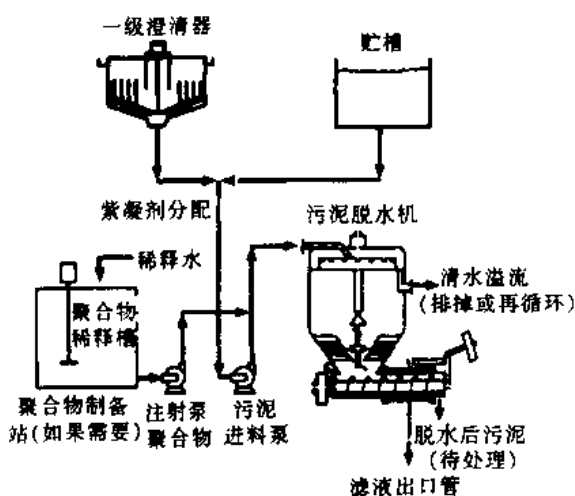


图 26-17 污泥脱水系统 (Alsthom 公司)

参考文献

- (1) FIRTH, B. K. AND CIESLEK, P. R. Biosensing for the Protection of Water Quality *Tappi Journal* (April 1990)
- (2) HANLEY, R. W. Setting the Scene for Environmental Compliance in the Last Decade of the Twentieth Century *Tappi Journal* (October 1990)
- (3) CROAL, P., ET AL Impact of the Canadian Environmental Protection Act on the Recycled Paperboard Industry *P & P Canada* 90: 12; T496 (December 1989)
- (4) RUSSEL, D. L. Monitoring and Sampling Liquid Effluents *Chemical Engineering* (October 20, 1980)
- (5) SEIFERT, J. A. Selecting Thickeners and Clarifiers *Chemical Engineering* (October 20, 1987)
- (6) GARNER, J. W. Tighter Mill Effluent Regulations Make Anaerobic Option More Viable *Pulp & Paper* (February 1991)
- (7) PEARSON, J. Major Anaerobic Plants Start Up *P & P International* (March 1989)
- (8) BUSCH, A. W. A Practical Approach to Designing Aeration Systems *Chemical Engineering* (January 1989)

10, 1983)

(9) SWANEY, J.M. **Rapid Infiltration Effluent Color Removal System Becomes Operational at Skookumchuck** *P & P Canada* 86: 2: T17 (February 1989)

(10) STEIN, R.M. , ET AL **Mills Search For New Waste Disposal Methods as Landfill Policy Tightens** *Pulp & Paper* (September 1989)

第 27 章 空气污染治理

空气污染的_{定义}可为:存在于周围大气中物质的浓度足以直接或间接地影响人的舒适、安全或健康,或影响全面利用和享用的特性。因为存在着空气污染问题,就必然有一个对空气状况有不舒服反映的受体。这个受体可以是动物、植物、任一种物质或是人类。污染的影响可分成健康性、经济性、干扰性或美学性的。

虽然在北美所测得的空气污染只有约 20%是制造行业造成的。但这块份额由于其可视性以及因为与一定工业生产有关的特殊臭味,受到了公众的最大关注。对工业排放的限制(跟对水排放和陆地堆放处置一样)也列入了政府的规定。在美国,基本法定框架性文件是 1970 年发布的净化空气法令以及随后的许多修正案。修正案建立在以前规定的基础上,在多数情况下比以前的规定更为严格。法令的条款由 EPA 通过许可证制度进行管理。在加拿大每个省都保留有制定和实施大气污染限制的权力。

在制浆造纸工业治理空气污染的努力,集中于控制有害气体和悬浮粒子的排放。各种类型的对空排放均可通过生产措施或通过改进生产工艺加以部分控制。但在大多数污染控制作业中,还需对大容量的排放气体(如烟肉有害气体)进行某种形式的外部处理。特别是臭气控制一直是造纸工业面临的最艰巨任务。虽然这些致臭物质(主要是还原硫气体)在大气中还不是危险浓度,但那些明显的和经常的臭味引起了公众的很大不满。

消除臭味不像消除悬浮粒子和(或)无味气体那样轻而易举。臭味很难测定,而且其可容忍和接受程度也很难界定。任务是不管用什么方式将排放点的臭气数量降下来,再将排放物质扩散到最大程度,以使其在到达人们可闻到它的任何地点时降得非常低。该浓度有希望降低到低于“可察觉的临界点”以下,对多数还原硫气体约为十亿分之几。

直到 20 世纪 70 年代,都是以高烟囱作为污染控制设施,以便扩散进入大气的污染物,从而保持地而的浓度水平在允许范围之内。虽然现在主要对烟囱排放物给予了限制,但使这些污染物扩散到周围地区的影响最小仍然很重要。高烟囱仍然在臭味控制方面占据重要地位。

在靠近厂区的居民点周围,大气质量在很大程度上受气象因素的影响。尽管对老厂来说已不能做什么事,但在选择新厂厂址时必须仔细考虑气象的特征。应考虑主导风向状况和影响局部产生逆风和缕烟扩散的地形特征。源头因素、气象因素和受体因素的综合效应示于图 27-1。

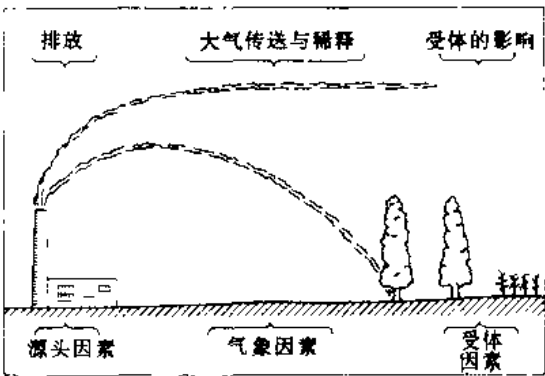


图 27-1 空气污染过程中各因素的相互作用

27.1 空气污染物的来源

制浆造纸工业空气污染物的主要类型和来源归纳于表 27-1 中。尽管在典型的制浆造纸生产中,水蒸气是最重要的气体排放物,但只有当汽雾限制了可视性或改变了气候时才被认为

是污染物。

表 27-1

主要空气污染物

类 型	来 源	类 型	来 源
细小悬浮粒子	主要是来自碱回收炉的碱雾	氧化氮	来自所有燃烧过程
粗大悬浮粒子	主要是从燃废料和燃煤锅炉来的“飞灰”	还原硫气体	来自硫酸盐制浆和碱回收生产
氧化硫	特别是来自亚硫酸盐浆厂生产	挥发性有机化合物	来自蒸煮器放压和废液蒸发的小凝气

大多数严重的污染问题通常与硫酸盐浆厂有关。因此,在这一节中将集中于来自典型硫酸盐浆厂生产过程的主要污染源,而只是偶尔涉及到其他制浆方法或抄纸作业。来自硫酸盐法循环图的可能排放源示于图 27-2。

细小的悬浮粒子主要从碱回收炉排出。微米级($0.2\sim 10\mu\text{m}$ 的胶状微分子)大小的粒子(烟雾)是在烟气被冷却时由各种碱性化学物质(如 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 、 NaCl) 升华而形成。

在 20 世纪 80 年代, EPA 对细小粒子的排放已给予很大限制,因为它们具有绕过人体呼吸过滤系统的能力,深入渗透到肺内,肺内血流就可迅速地吸取毒性元素⁽¹⁾。

粗大的悬浮粒子主要来自烧废木料和煤炭的锅炉,由灰和炭挟带物所造成。石灰窑和溶解槽排气也是粒子的重要来源。从石灰窑排出的气体中含有来自白泥飞沫的较粗粒子和由于钠化合物升华的烟雾。

氧化硫在硫酸盐浆厂中是个较次要的麻烦。碱炉和动力锅炉是氧化硫(SO_2) 的两个可能来源,但排放水平通常低于有害的水平。 SO_2 是亚硫酸盐浆厂的主要排放物,但由于 SO_2 的臭味阈值高于还原硫气体约 1000 倍,臭味问题不是同一数量级。

在制浆造纸工业内对控制氧化氮注意较少,它是高温燃烧过程的副产物。但 NO 和 NO_2 两者都已知在大气中有光化学影响,被 EPA 列为主要污染物。因此 EPA 对其排放有相当严格的限制。所幸的是,在碱回收炉、动力锅炉和石灰窑等设备,通过使这些燃烧装置在尽可能低的火焰温度与有限的过剩空气下运行,即可充分控制住氧化氮的生成。

硫酸盐浆厂的臭味主要来自硫化氢、甲硫醇、二甲硫、二甲二硫等四种还原硫气体。这些气体统称为“总还原硫”,排放物一般称“TRS 排放物”。其各气体的特征示于表 27-2。TRS 排放物的主要来源是蒸煮器的喷放和小放气的气体、多效蒸发器的不凝气和碱回收炉排空气体。在未漂浆洗浆机和水封槽的排气口、黑液贮槽排气口,熔融物溶解槽排气口、石灰窑排空管、黑液氧化器排空管和消化器排空管均可测出浓度来。就在最近,氧化塘和曝气塘也已发现是 TRS 排放物的可能贡献者⁽²⁾。来自蒸煮器和蒸发器的不凝气是小容量、高浓度的 TRS 排放物来源,因此一般用焚烧办法很容易处理。大容量的碱回收炉排气较难处理,通过诸如黑液氧化(见 10.1 节)、设计低臭回收炉(见 10.3 节)和碱回收炉合理运行(见 27.3 节)等办法以减少排放物来源,可取得很好效果。

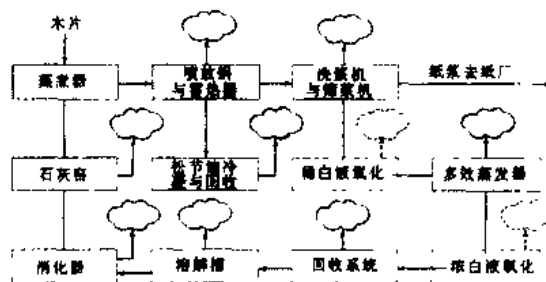


图 27-2 硫酸盐浆厂中可能的废气排放源

表 27-2

还原硫气体的特征

化 合 物	化学分子式	臭味类型	最低臭味值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
硫化氢	H_2S	臭鸡蛋味	1
甲硫醇	CH_3SH	臭甘蓝味	1
三甲硫	CH_3SCH_3	烂菜叶味	10
二甲二硫	CH_3SSCH_3	烂菜叶味	10

除了那些含硫化合物外,还可从硫酸盐浆厂的好几个来源排放出挥发性有机化合物。最浓的来源是蒸煮器和蒸发器生产排出的不凝气。其典型成分为乙醇、萜烯和有机酚。这些气体本身气味不大,它们的主要作用是增强含硫气体的臭味效应。这类有机气体有些还参与大气中的光化学反应。利用焚烧办法控制有机气体是比较一劳永逸的。

27.2 监控与测试

空气质量管理监控与测试,一般包括两个具体部分,即源头取样和周围大气取样。作为最低要求,应实行各个烟囱排气的源头取样,以测定具体排放量和确定是否满足规定的限制值。但在许多情况下,为了检验居民区的空气质量和确认地面具体污染物的浓度水平在允许限度之内,测试周围大气也是必需的。

源头取样

实行源头取样和测试可有许多具体的理由(表 27-3),但主要目的是为排放物控制提供反馈信息。不久以前,实际上所有的烟囱监控工作都是人工进行的,但今天已成功地使用了许多主要是气体排放物用的在线、自动的连续监控装置。悬浮粒子取样不易与自动化方式相适应。

表 27-3

源头取样的理由

1. 获得可靠的排放数据以提供控制对策的基础	5. 根据其入口和出口的负荷确定现有收集装置的效率
2. 评估排放是否符合规定标准的要求	6. 监控出口气流中一种以上的成分,作为控制生产过程的一项措施(例如燃烧生产过程的 O_2 和/或 CO)
3. 评估化学或生成物流失的经济影响	7. 获得进行物理和化学性能测定用的试样
4. 确定所推荐的收集装置的入口负荷	

人工测试技术的详细描述超出了本书的范围。大多数测定工作包括精心测定气体流量和污染物浓度作为计算排放量的基础。在测试悬浮粒子时,其特殊要求是气体试样吸入到试样探测管中去的速度,要等同于大量气体在风管或烟道中的行进速度;这个称之为等动力学取样的程序,保证了所获得试样的代表性。图 27-3 示出了一个新型悬浮粒子取样系统的例子。

长期来都承认,简易取样的源头测量装置对过程控制提供不了充分的信息。这些测量装置一般都是在相对稳定操作期间取的样,因而无法指示发生不正常情况时的高额气体排放量。连续的排放数据肯定是必需的,在过去 20 年来由仪器供应商提供了许多这方面的测量装置,以努力满足工业上的需要。

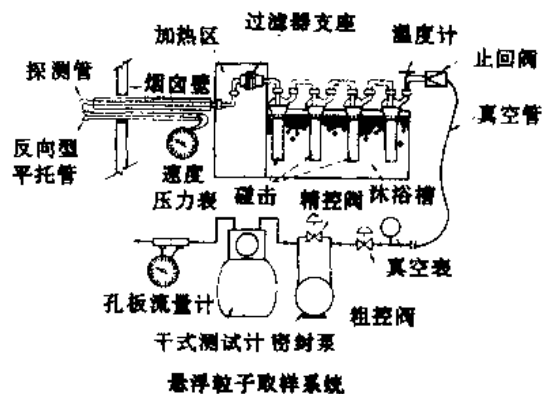


图 27-3 悬浮粒子取样系统 (Joy 制造公司)

在 20 世纪 70 和 80 年代,连续气体排放监控仪 (CEM_s) 有了迅速的发展。目前已有可用于许多气体污染物 (包括 TRS、二氧化硫、氧化氮、碳氢化合物、二氧化碳和一氧化碳) 的可靠检测仪。若干代表性的测试技术列示于图 27-4。所有的 CEM_s 都需要有一个探测管或入口装置、一个试样整定装置、一个测试分析仪和一个数据记录装置。为使分析期间的物理和化学干扰最小,应从试样气流中除去悬浮粒子,且必须防止水分的凝结。

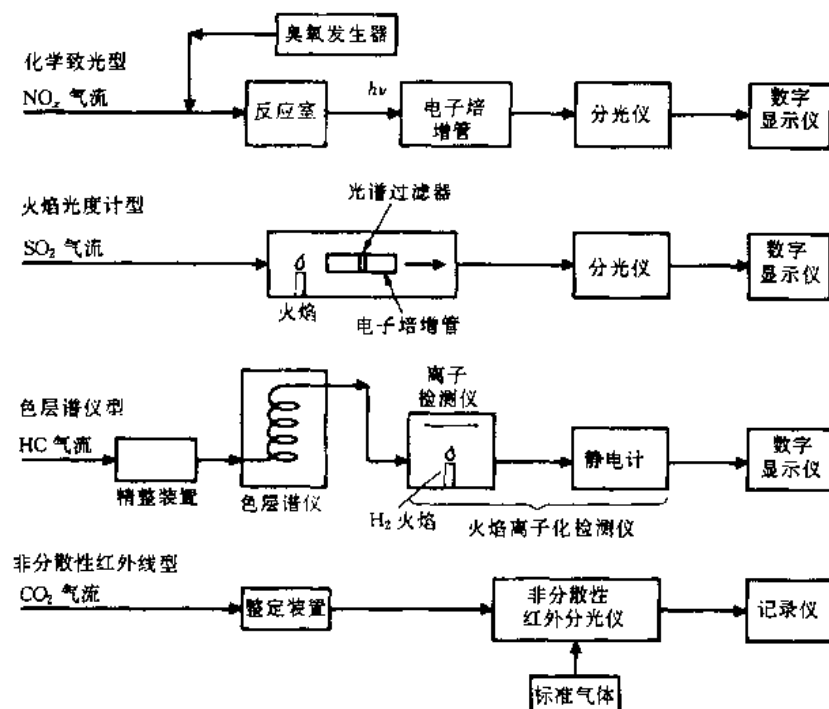


图 27-4 监控氧化氮、二氧化硫、碳氢化合物和二氧化碳的代表性方法

悬浮粒子的 CEM_s 已经开发了有 20 年,造纸工业内部已有许多这方面的装置。有一个分析方法利用过滤和 β -射线衰减原理,它有一个好处,即只与所收集物质的质量有关,而与其化学或物理性能无关。另一个可溶性悬浮粒子的分析方法包括用去离子水洗涤气体试样,并用钠比电离电极 (Sodium Specific ion electrode) 或导电率测定仪来分析溶液。但还没有在成本、可靠性、耐久性和被官方认定方面都完全满足要求的粒子 CEM_s 可资利用。

烟气内部可变光的传输,对连续测量可见排放物是有效的,但这个方法并不表示排放气体的质量流量。大多数这种形式的 CEM_s 使用光电技术,如图 27-5 所示。这种方法的主要问题是悬浮粒子有可能覆盖住镜头或探头。

虽然 CEM_s 提供了有用信息,但它们与烟气的密切接触,使其积满悬浮粒子、水分和腐蚀性凝结水,造成可预见的麻烦。遭受震动、热和严酷环境影响的精密光电仪器,要求操作人

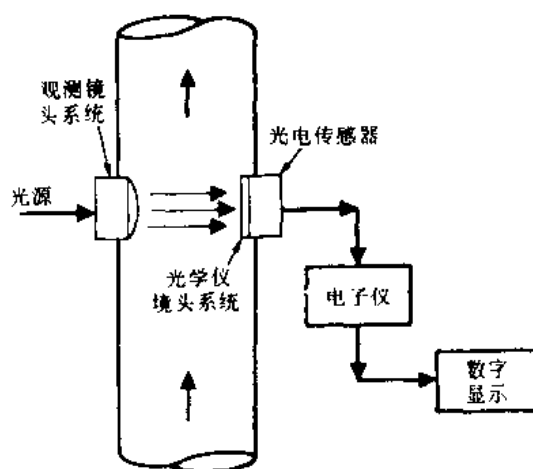


图 27-5 一种可见排放物的检测仪

员经常进行维护。

周围大气取样

在制浆造纸厂当地的居民区和外围影响区进行周围大气污染情况的测定,对消除工厂具体影响环境污染的数量和程度上的误解方面,其作用可能是无法估量的。为此,使用了代表先进水平的各类取样装置。至少有8种取样站在正常使用着,它们以主风向作为选择取样点的主要考虑。最理想的是应该方便和靠近电源,但又不十分引人注目(以减少破坏文化氛围的可能性)。

从测风所得到的信息最好归纳成“风玫瑰”形式。在最基本的风玫瑰形式中(图27-6),16个风向中每个风向的线长度代表从该方向来风的时间百分率,另一种形式的风玫瑰(图27-7)表示按4个风速范围和8个罗盘点的平均风速和风向(来风方向)。

周围大气测量主要感兴趣的通常是可沉降的粒子(即“降尘”)、悬浮粒子、还原硫、氧化硫气体和腐蚀效应。降尘是利用一个已知收集面直径的敞开容器进行测量,它可在取样站停留一个月。然后测量固形物量并计算出降尘量,通常以每月每平方英里的吨数为单位。

悬浮粒子利用大容量取样装置进行测量,取样装置使用一台真空吸尘器型的鼓风机,经过过滤器抽取经计量的大量空气,粒子就在过滤器上积聚。过滤器通常在24h取样期以后称重,以确定所积聚的物质质量。浓度报告以每立方米的毫克数为单位。

测量周围大气含硫气体浓度的传统方法是将一个涂以氧化铅软膏的表面暴露直至4周的时间。二氧化硫与其他含硫气体与氧化铅软膏起反应而形成硫酸铅,其形成数量随后用化学方法进行测定。这个相当原始的方法已基本被大量仪器的和化学的方法所取代。人工测试装置和连续测试装置两者都可用于测量周围大气中的二氧化硫和TRS气体。

腐蚀速率可借将低碳钢、锌、铜、铝或其他特殊材料的试件暴露在大气中进行测定。在暴露一个已知的时间周期后,将试件洗净并称重作为腐蚀的指标,金属损失通常以 $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{月})$ 表示。

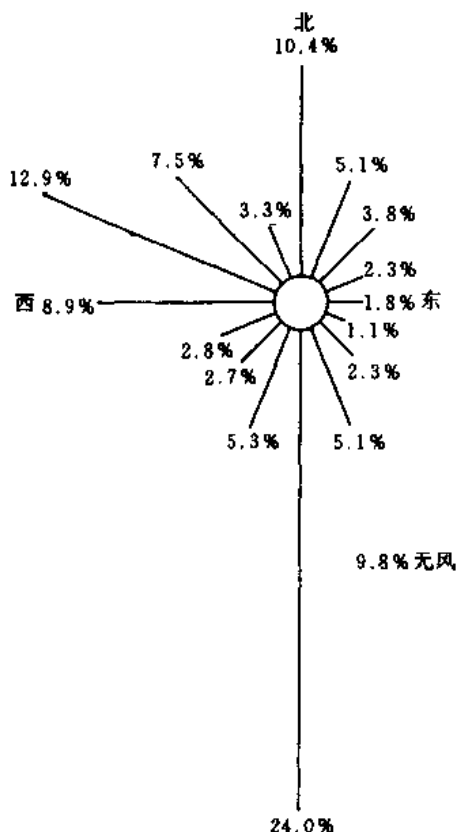


图27-6 表示从16个方向的每个方向来风的时间百分率的风玫瑰

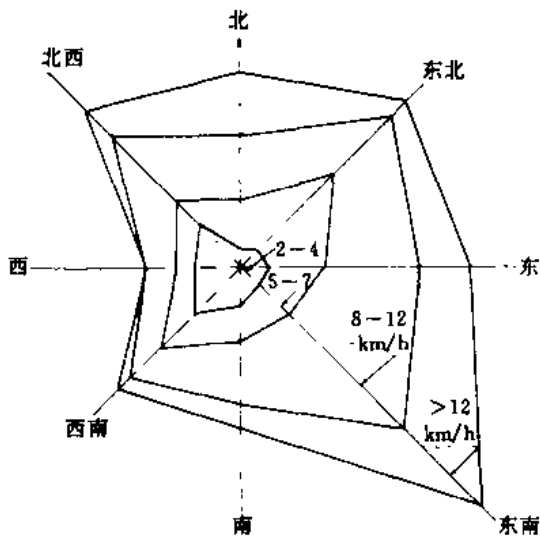


图27-7 表示风向与8个方向中每个方向风速范围的分布的风玫瑰

27.3 生产过程中的污染治理

生产过程中治理空气污染的措施,通常目标是减少臭味。在这方面的主要对策跟碱回收炉系统的设计与操作以及跟蒸煮和蒸发操作带来的不凝气与蒸汽的收集与焚烧有关。

碱回收炉操作

黑液氧化的目的和机理已在 10.1 节中介绍。只有在仍然利用直接接触蒸发器的工厂中采取抑制臭味的措施时才是必需的。氧化作用将硫化物转化成硫代硫酸盐,从而防止在直接接触工艺中热烟气从黑液解吸出 TRS。新一代的“低臭碱回收炉”省去了直接接触蒸发器,因而就消灭了 TRS 排放气体的主要来源。但黑液氧化作用或低臭设计对来自炉膛燃烧区的 TRS 排放物没有作用。

许多研究者在 20 世纪 70 年代前期〔例见参考文献 (3)〕即着手确定碱回收炉炉膛操作变数对来自燃烧区的外排硫化物臭气的影响。已断定,从此来源排出的 TRS 气体通过严格遵守操作规程有可能控制在低水平。绝大多数研究人员都同意下列的方针:

(1) 炉膛负荷不应超过规定的“临界水平”。在一些老碱炉,其临界水平为额定固形物负荷的 115% 左右。

(2) 一次风不应超过总供风量的 65% (即至少有 35% 应为二次和三次风)。

(3) 过剩氧应控制在 2.0%~2.5% 范围。低于 2%, TRS 排放物增加,超过 2.5%,可能有形成 SO_3 和粒子粘结等麻烦。

(4) 药液硫化度应保持在最低切实可行的水平,一定要低于 30%。

(5) 供燃烧的黑液固形物浓度至少应为 62%。

(6) 黑液中惰性无机化合物 (如 Na_2CO_3 、 NaCl) 的浓度应为最低。

(7) 黑液喷洒应很好地分散。

(8) 高湍动的二次风是有益的。

烟气中存在的 TRS 基本上是由于炉膛上部 (氧化) 区域燃烧不充分所致。氧化除了充足的空气外,还需要有充分的“渗透”与混和作用。

黑液中的硫浓度对 TRS 的形成有深远影响。随着通过生产过程中采取的措施,使硫的损失得到控制,药液硫化度水平趋于上升,从而将增加 TRS 排放的推动力。为了保持硫化度的最高限额,必须减少含硫化学品的补给量。有许多工厂鉴于芒硝 (Na_2SO_4) 的高含硫量,实际上已取消了以芒硝作为补给化学品,而使用诸如烧碱 (NaOH) 和纯碱 (Na_2CO_3) 等无硫化学品。

过去 20 年来,蒸发器和碱回收炉的制造商已改进了他们的设计,以便提高用于燃烧的黑液固形物浓度和改善炉膛燃烧区内的混和作用。这些改进在减少 TRS 排放的同时,又增加了热效率。

不凝物的收集与焚烧

不凝气和不凝蒸汽来自蒸煮放气、蒸煮喷放和黑液蒸发 (后者含 TRS 和挥发性有机化合物),通常混合进入某个气体总管以便随后进行处理。在有些系统中,还加入来自蒸煮器与蒸发器的冷凝蒸汽汽提器的气体 (见 26.2 节)。为从所有来源抽取气体并将它们喷入石灰窑或动力锅炉,往往用一台抽风机就够了。

使用连续蒸煮器的工厂中,不凝气流量十分稳定。使用间歇式蒸煮锅时必须要有若干均衡流量的办法。有两种基本的气体贮罐形式用于提供缓冲能力,使气体可在稳定的流速下进行计量,球形系统 (图 27-8) 利用塑料薄膜的升降维持在缓冲隔舱内的恒压。浮桶型气体贮罐

(图 27-9) 利用随着气体的进出贮罐而使“浮桶”升降。

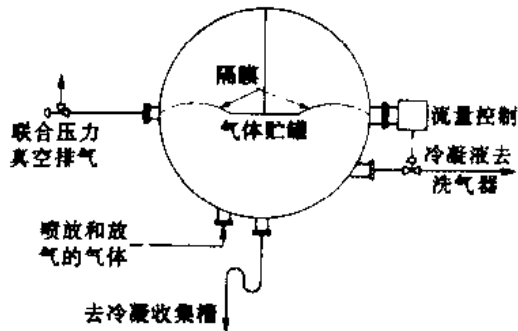


图 27-8 球形气体贮罐

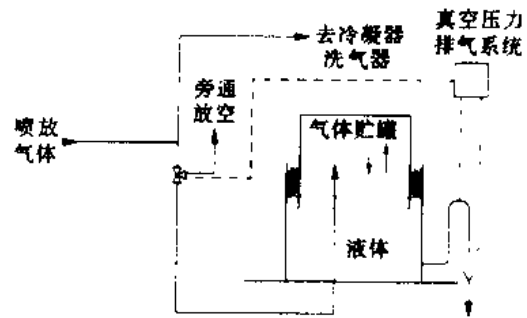


图 27-9 浮桶型气体贮罐

在有些工厂，气体在焚烧前用烧碱洗涤以吸收硫化物，但在大多数系统，气体都是不经进一步处理即去焚烧，一般是在石灰窑中焚烧。焚烧破坏了有机化合物而将 TRS 转化成 SO_2 。如果石灰窑配有废气洗气器，就可部分地加以吸收。在不凝物焚烧系统的设计与操作中，必须对潜在的爆炸危险采取一切可能的预防措施。由于管道内不凝气流极易燃烧，整个系统经常使用火焰消除器和安全隔膜(rupture disc)等安全装置。石灰窑使用的小型燃烧装置示于图 27-10。

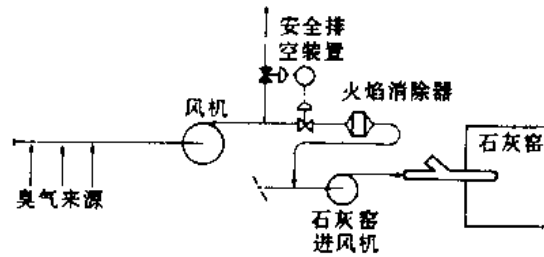


图 27-10 焚烧不凝气的标准燃烧装置

27.4 控制设备

严格地说，空气污染物有三种形式：即固体微粒子、气体/蒸汽(臭气)和液滴(如雾和悬浮细粒)。但液滴很容易除去，基本上不认为会造成污染问题。在污染控制设备实际上常形成液体挟带物，它接着在以后工序中很容易地被从气流中除去。所以实际上需要被除去的两种污染物主要是固体微粒与气体/蒸汽。

从废气中除去固体微粒与气体/蒸汽污染物的主要设备类型列于表 27-4 中。在所有情况下，选择设备主要取决于对性能需要、工艺和安全考虑及经济因素的仔细评估。洗气器设计用于除去固体微粒或气体/蒸汽，一般不适宜于同时除去两种污染物。系统设计所需的主要资料归纳于表 27-5(对固体微粒)和表 27-6(对气体/蒸汽)中。

消除气态污染物的燃烧过程

有许多气态空气污染物如有机物质和 TRS 排放物，可通过燃烧加以消除。为了完全消除污染物，必须加入足量的空气，或维持在 $650\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温(即热焙烧)，或使用催化剂在较低的 $300\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度(催化剂燃烧)。基本设计要求和类似的，即主要使与空气彻底地混合并将温度提高到完全氧化所需的水平。

虽然投资略高一些，但专门为消除污染物而设计的催化系统的运行费用要比相应的热焙烧系统便宜。要考虑的一个因素是气流中是否存在有结垢媒介，它会降低催化剂的功能。尽管在许多应用场合，催化系统显得更有效和运行更经济，但它们在制浆造纸工业很少使用，因为诸如石灰窑和动力锅炉等热焙烧系统是现成的，并可适合于破坏污染物(参见前面的 27.3 节)。

表 27-4 空气污染
物控制设备

除去气体/蒸汽	除去固体微粒
催化剂燃烧	机械收集
热焙烧	织物过滤
吸附	石子床过滤
湿法洗涤	(“干法洗涤”)
	电除尘
	湿法洗涤
	混合式设计

表 27-5 在选择除去固体
微粒的设备前所需资料

粉尘或烟雾	化学鉴定
	在气流中的浓度
	微粒规格特征
	所需的除去率
	导电率
气流	体积流量
	温度
	露点
	易燃性如何
	是否存在气态杂质

表 27-6 在选择除去气体/蒸汽
的设备前所需资料

气体/蒸汽污染物	化学鉴定
	在气流中的浓度
	所需除去率
	是否有充分的回收价值
	可燃性或非可燃性
气流	体积流量
	温度
	水分含量
	易燃性如何
	是否存在微粒杂质

气体和臭气的吸附

吸附是将气体分子捕集在固体吸附物（诸如活性炭或硅胶）的表面上。吸附是一个物理过程，利用吸附表面与所选气体分子之间的吸引力。当吸附区已饱和时，借通入蒸汽或热空气使吸附床“再生”。然后经过浓缩的再生气流必须送去回收或处置设施进行最终处理。

在制浆造纸工业中已很少使用吸附法除去污染物，但这项技术在特定情况下可能仍然是有用的。通常当污染物浓度很稀或当气体（或蒸汽）有充分回收价值时，发现吸附法还有其用武之地。

湿法洗气器

湿法洗气器是通过跟适当的吸收液或润湿液（最常用的是水）紧密接触而从气流中除去粉尘或气态污染物。捕集率通常与通过容器的压力降和除污的相对难度成函数关系。为获得规定的捕集率，所需压力降（此项工作由风机完成）与粒子规格和（或）气态杂质的溶解度成相反变化（见图 27-11 和图 27-12）。因此，如果要除去微米级的粒子或低溶解度的气体，就需要大的压力降。通过工业用洗气器的压力降，根据需要波动于 8~254cm 以上水柱。显然，高压降洗涤器的运行费用更贵些。

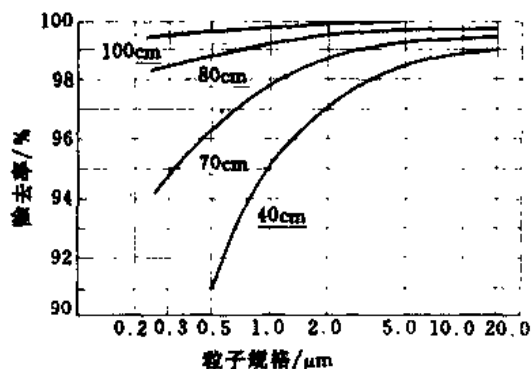


图 27-11 在洗气器中粒子除去率
与粒子规格和压力降的关系

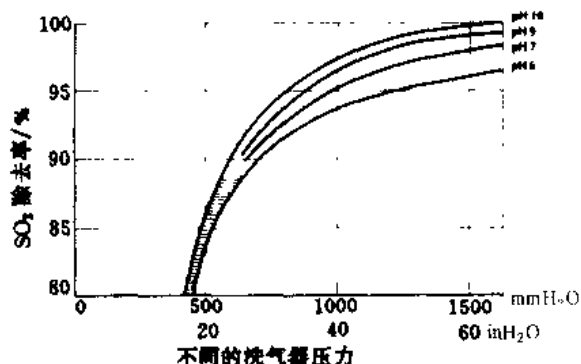


图 27-12 在洗气器中的 SO_2 除去率
与水 pH 和压力降的关系

注：1mmH₂O=9.80665Pa

1inH₂O=248.84Pa

湿法洗气器最适用于净化热湿的气体。在操作中由于空气、水和污染杂物的混合，可形成明显的侵蚀作用。可在中碳钢上涂覆各种材料以防止腐蚀。在多数情况下使用不锈钢或玻璃钢作为结构材料可能是值得的。

洗气器的制造商提供了五花八门的设计系列（一般地说，制造商要求在较低压力降下能获得一定的效率）。为克服某些混淆现象，可将这些装置组合成如表 27-7 的多个类别。要全部讨论各种设计的相对优缺点超出了本节的范围；虽然如此，这里还是介绍了少数几个常用类型的操作特性。

表 27-7

洗气器的类别

多层蒸馏塔型	— 液体通过立式塔的各层下流。气体则通过每层的接触装置上行
固定填料塔型	— 液体通过立式塔填料层下流，填料提供了大的表面积。气体则经填料上行
移动床型	— 除填料较轻，气流速度使填料床保持流态外，类似于固定填料塔设计
纤维性填料塔型	— 惰性纤维（例如塑料丝、玻璃纤维）床提供气液接触表面。多数设计是水平型的
预制喷射型	— 粒子或气体被喷嘴雾化的液滴所捕集。气体流动为水平或直立型
气流雾化喷射型	— 移动的气流使液体雾化成液滴并加速液滴的更大接触（例如文丘里洗气器）
离心型	— 使穿经筒体的气流产生旋转运动。通过旋转气流增湿筒壁或引导喷射液
挡板与二次气流型	— 利用固体表面改变气流方向和速度。离心作用使粒子被捕集到湿表面上
冲击与雾沫分离型	— 当气体冲击到液体面上时产生自感应的喷雾。雾化液滴就起到了捕集面的作用
机械辅助型	— 利用洗气器出入口之间的电动装置提供接触表面。通常，随着气流流经该装置，粒子因碰撞到润湿的风机叶片上而被捕集
综合型	— 已介绍过的任何几个方法的综合

多层蒸馏塔型洗气器（图 27-13）和固定填料型洗气器（图 27-14）是成功地用于多级气体吸收的传统设计。这类设计由于积聚和堵塞问题不大，适合于除去固体微粒。所有其他类型都是专为除去固体微粒而设计的。

一种典型的冲击——雾沫分离型洗气器示于图 27-15。在该设计中：①含尘气体在捕集管底部的下面越过洗涤液表面；②每个帽罩入口使混合气体形成旋风式的回转作用，随着持续在管内上升，回转作用将水剪切成浓密的雾化喷射液；③在捕集管入口，气液混合物冲击到弧形挡水板上；④挡水板的作用好似一个雾沫除去装置。

也许为除去固体微粒最普遍和通用的洗气器设计，是那些使用文丘里喉管入口的洗气器（典型例子见图 27-16）。当气体进入文丘里喉管的上部时，它碰上切线引入的洗涤液。喉壁根据特定用途缩聚成尽可能小的直径。一般地说，缩聚的直径愈小，压力降愈大，除去亚微型规格粒子的效率也愈高。随着气体在喉部缩聚，速度增加，气流中的固体微粒撞击缓慢移动的水滴。于是含尘水滴被挟带进旋风式分离器中，在分离器，水从气体中被分离出来。为

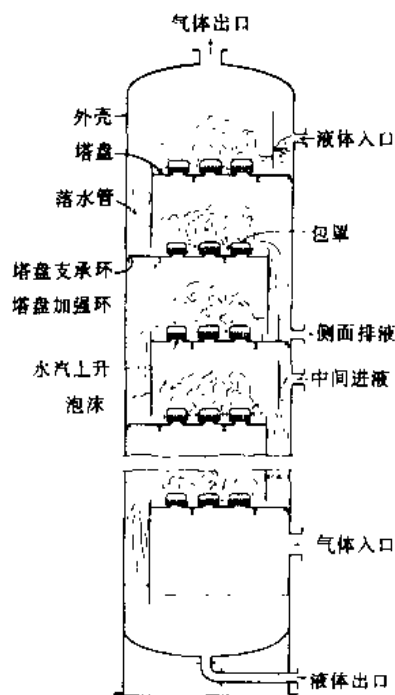


图 27-13 带液—气接触元件的泡罩塔洗气器

保证没有液体雾沫保留在废气中，有些装置还使用滤网除雾器。

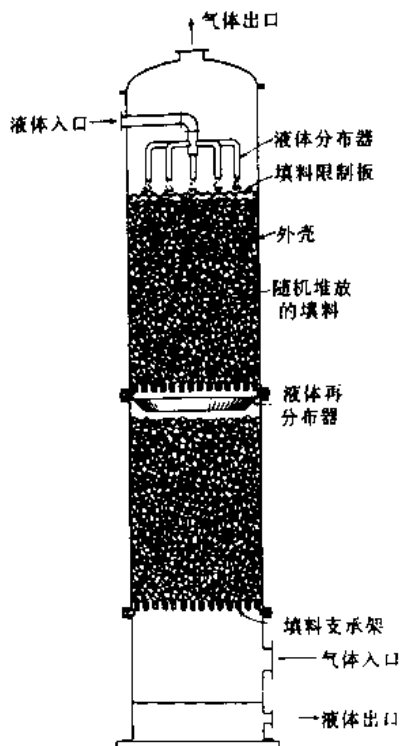


图 27-14 带固定填料的立式洗气塔

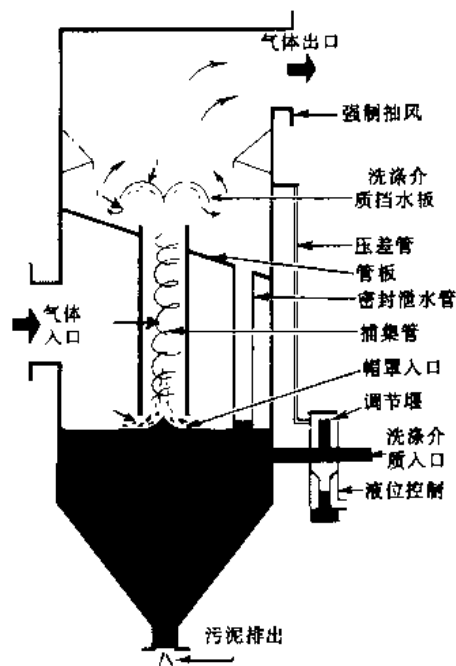


图 27-15 利用冲击—雾沫分离原理的洗气器（Zurn 空气系统公司）

图 27-17 展示了一种典型的综合型洗气器设计，它用文丘里喉管进行主要的粒子撞击，然后以移动床区除去聚结物。

用机械方法除去固体微粒

最简单的粒子除去装置是机械的或惯性的捕集器，在这里，气体沿着粒子无法轻易地跟随的路线（由于惯性）流动。作为一种类型，机械捕集器的安装费用不贵，运行费用为低至中等，但限于除去相对较大的粒子。最简单的机械捕集器形式是沉降室（图示 27-18），实际上是大截面的分隔装置使气体速度下降，从而使重粒子沉降下来。压力降很小，但只能分离 $50\mu\text{m}$ 以上的粒子。

在另一种机械捕集器设备中，气体不断地改变方向。最熟悉和广泛使用的机械捕集器是旋风分离器，其中一个例子示于图 27-19。含尘气体在带锥圆筒外壳的上部切线进入，气体被强制沿螺旋路线向下。粒子被离心力外甩并下行，它们通常排入一个漏斗中。气体则被迫进入中心漩涡并从顶部排出。气流的螺旋线愈紧密，作用在粒子上的离心力愈大。

使用小直径的旋风式捕集器，所获得的粒子除去率最

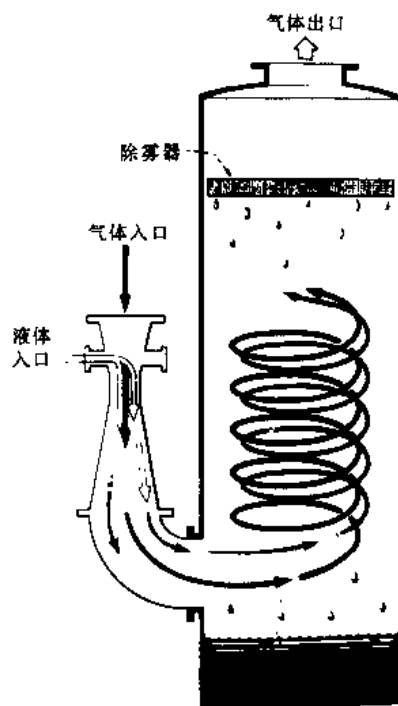


图 27-16 典型的配有旋风分离器 and 滤网除雾器的文丘里洗气器

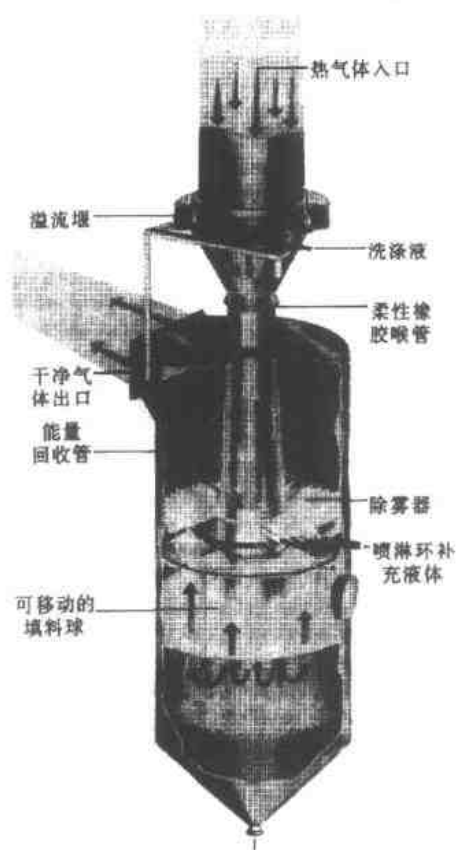


图 27-17 典型的综合型洗气器
(UOP Air Correction Div)

高。在许多应用场合，捕集器由一个单一外壳内装许多小直径的旋风风管（图 27-20）而组成（图 27-21），气流均等分配到每个管。采用这种装置，可除去小至 $5\mu\text{m}$ 的粒子，效率达 95% 左右。

提高旋风式捕集器效率的方法有两个，但每个方法都包括二次气流的进一步处理。对原有老装置，采取的方法是允许相当量气流（约 10%）随粉尘排入漏斗内的分离器隔舱。对新装置，采取的有效方法是“刮除”出口管外侧的富含尘层，主气流则去风机和烟囱（见图 27-22）。从漏斗排出管或二次刮除室排出的二次气流，一般让它通过一个小型中等能量的洗气器，在这里将细小的粒子清除掉。于是湿式洗气器与主气流相混合就产生了不饱和的烟囱废气。

织物过滤器利用气体通过绝大多数粒子都无法穿透的滤布而且捕集固体粒子。设备供应商提供了许多形式的织物过滤器，其中之一列示于图 27-23 中。通常这类装置使用中等压力降，以高效率除去 $0.1\mu\text{m}$ 以下的粒子。但限于用于从 300°C 以下烟气温度的干燥的非聚结的粒子。

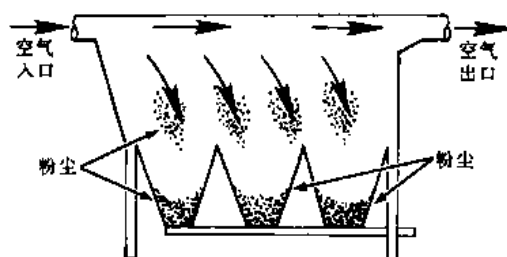


图 27-18 低压降的沉降室，但捕集效率也低

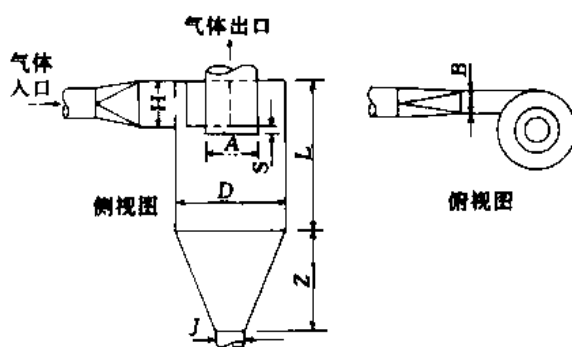


图 27-19 显示主要设计规格的旋风分离器

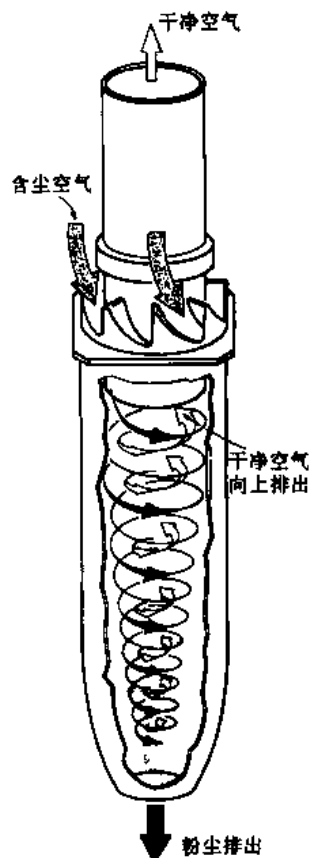


图 27-20 粉尘捕集器管的剖面图
(UOP Air Correction Div)

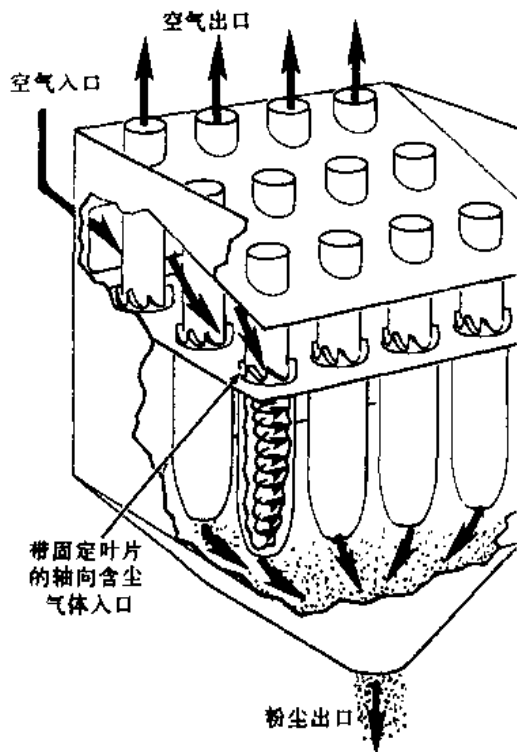


图 27-21 典型的多管捕集器装置

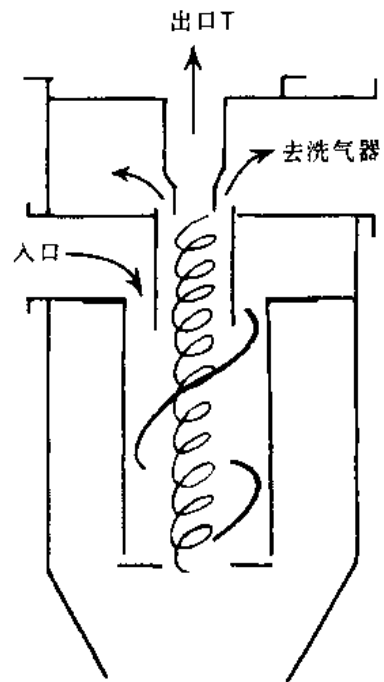


图 27-22 从旋风式捕集器的二次刮除

随着捕集物层积聚在过滤器介质上，连续流动所需的压力差增加。因此，必须将积聚物定期清除。多数大型的布袋集室分隔成许多个过滤器隔舱，以旋转周期性地清除，而不影响操作的连续性。清除装置可利用机械振动器、逆流的空气射流冲洗或这些方法的任意组合。从过滤器介质排出的粉尘落入漏斗区，并用气锁式 (air lock)、螺旋输送机或其他装置排除。

砂砾床过滤器

“干式洗气器”的基本原理是利用颗粒状过滤器介质的移动床捕集粒子。示于图 27-24 的典型设计，由含两个同心通风圆筒管的立式容器所组成，在管内的环状空间充填碗豆大小的砂砾，其作用好似过滤器介质。含尘废气穿过过滤器介质借撞击而除去。为防止过多的粉尘积聚在过滤面上，“介质柱”缓慢地向下移动，连续排出含有微粒的介质层。清洗砂砾

(一般用振动筛)以除去微粒物质，然后用斗式升降机将其送到过滤器顶部供另一个循环使用。

砂砾床过滤器是一个多功能捕集装置，操作条件允许范围很大。这种装置可在一定程度上借改变过滤介质的颗粒规格和再循环速率加以调节。但其所需压力降高于相应的织物过滤器。

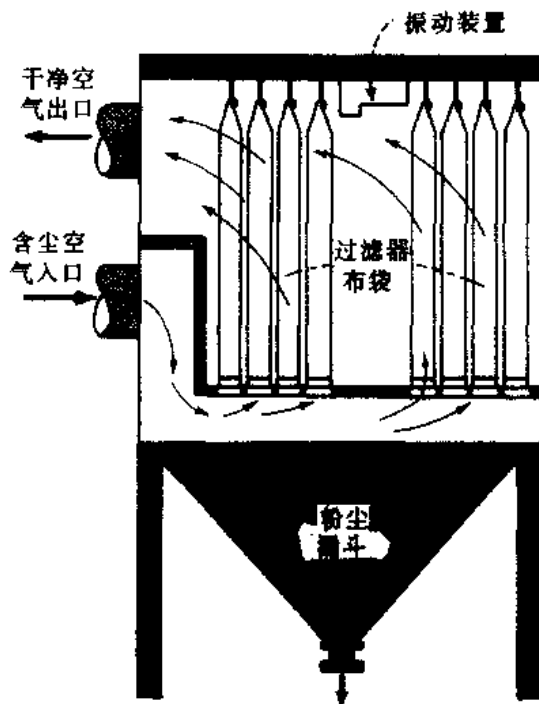


图 27-23 带振动装置的布袋集尘室过滤器

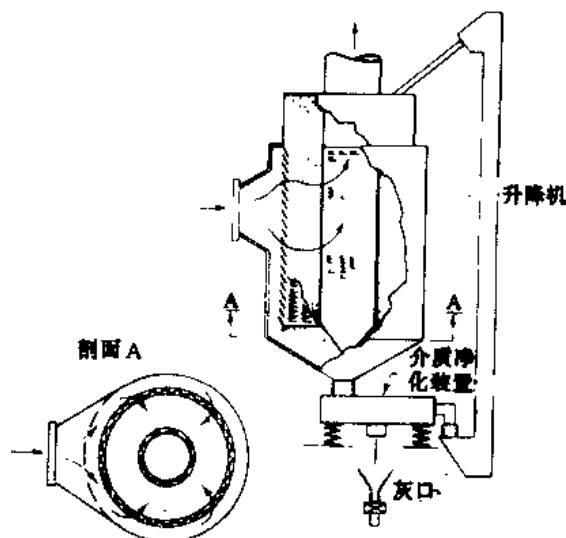


图 27-24 砂砾床过滤器 (Combustion Power 公司)

电除尘器

电除尘器 (ESP) 可能是一种效率最高的粒子捕集器。新型装置一般可除去 99.9% 以上小至 $0.3\mu\text{m}$ 的粉尘粒子。虽然设备庞大, 安装费用很贵, 但运行费用还比较适中, 因为不像其他的污染物控制装置, 电除尘器只作用到被捕集的粒子上, 而不是作用到整个气流。ESP 长期来是除去碱回收炉废气中碱尘的首选设备。现在 ESP 也已逐渐应用于石灰窑和树皮锅炉废气的净化。

1985 年对石灰窑污染物控制装置的一项评估报告⁽⁴⁾比较了 ESP 与湿法洗气器之间的投资与年运行费用, 如图 27-25 所示。一般地说, 必须被处理的气体流量很大, ESP 的最初花费 (即较高的投资) 才是合算的。在较高的气体流量水平时, 因运行费用低所获得的节约额很快抵消了较高的投资费用。

ESP 在含尘气体通过处利用高电压产生一个负电荷场。粒子吸移负电荷并借正电荷捕集板被吸离气流。定期用机械作用敲击这些捕集板, 将其积灰排入漏斗 (干式底部) 或进入液体槽 (湿式底部)。常见的线板 (wires and plates) 布置示于图 27-26。典型的生产装置示于图 27-27。虽然作用的电压约为 100kV , 电流却只有约 $50\text{mA}/0.645\text{m}^2$ 捕集面。通过线板之间间隙的电压降一般约为 1cm^4 或 5kV 。

ESP 的捕集效率跟粒子暴露到静电场的时间与粉尘粒子的电阻率有关。暴露时间是一个设计变数, 取决于电除尘器的截面积及其气流方向的长度。电阻率是

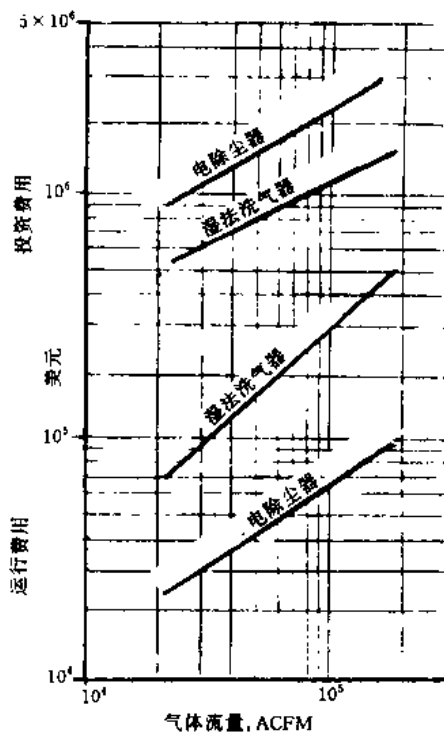


图 27-25 湿法洗气器与电除尘器的投资与年运行费用 (1985, E. Pollock & R. T. Walker)

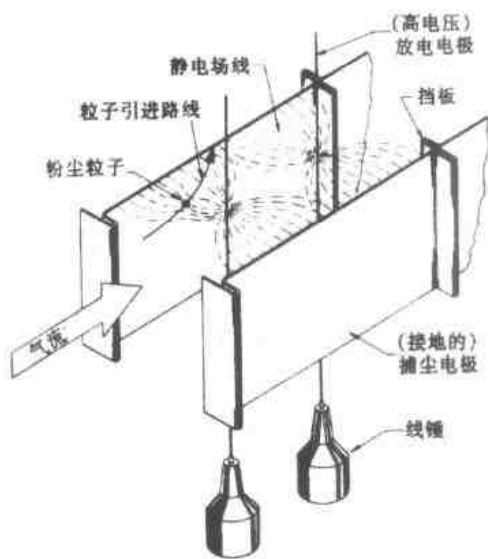


图 27-26 粉尘粒子的静电作用过程

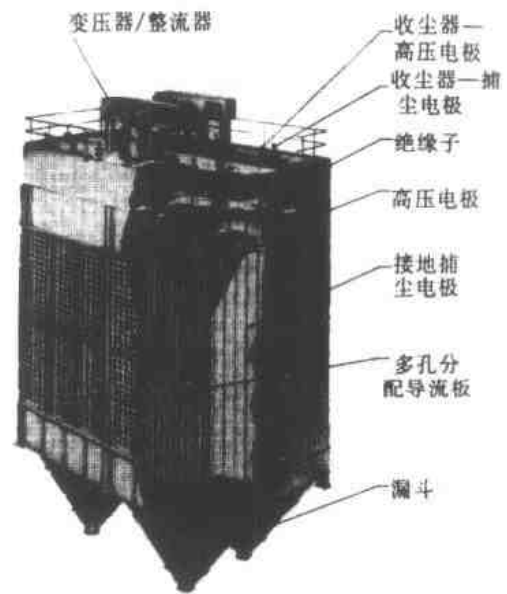


图 27-27 静电除尘器剖面图

(UOP Air Correction Div)

粒子吸移电荷有多容易的一种度量方法；高电阻率表示对电荷迁移过气体层的高阻抗。奇怪的是，具有中等电阻率的微粒物质比具有极高或很低电阻率的微粒物质一般更容易在 ESP 中捕集。

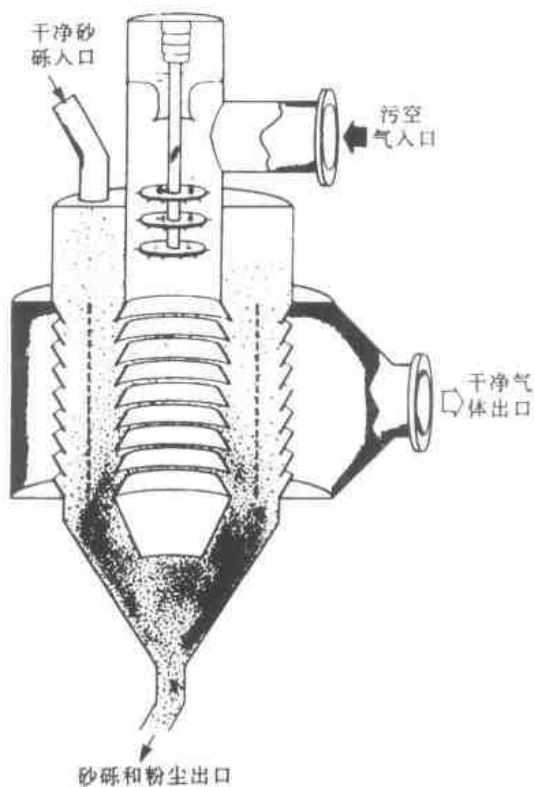


图 27-28 带电过滤器床的简图

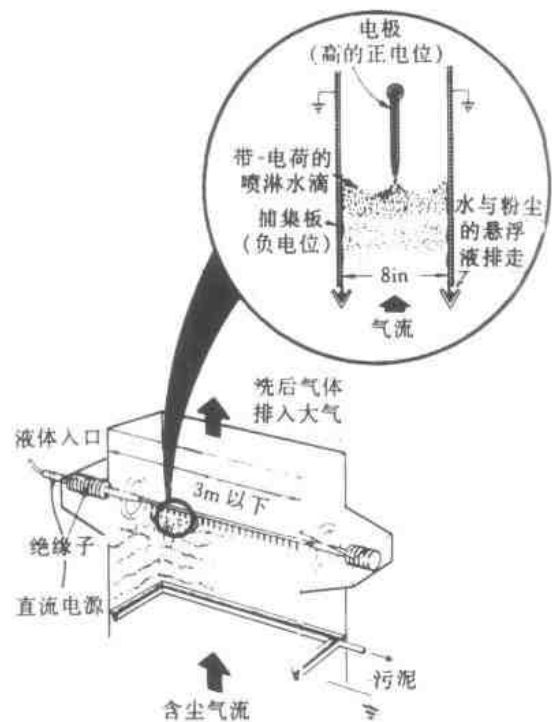


图 27-29 湿式电除尘器 (TRW 公司)

混合型捕集器

有许多新近开发的捕集装置，利用静电原理强化使用性能。制浆造纸工业特别感兴趣的是带电过滤器床和静电强化洗气器。带电过滤器床（砂砾床过滤器的配合件）的操作列示于图 27-28。在该设计中，入口的粒子从高电压离子盘吸移电荷，然后粉尘粒子被电极化的砂砾床所捕集。由于与静电原理相结合，据说捕集率大为加强⁽⁵⁾。

在一种静电强化的洗气器（或“湿式静电除尘器”）中，当含微粒的空气经过高电压区时，将水喷洒到空气中，微粒和液滴都带相同极性的电荷，然后它们迁移到捕集电极而被除去。在示于图 27-29 的该设计中，带电荷的粒子进入一个室，在室内它们被带相反电荷的水滴所捕集。然后水滴迁移到捕集板面凝聚并排走，使捕集板保持干净。这两种设计的变型是利用连续水流保持捕集板面的干净。在第三种混合型设计（示于图 27-30）中，带电荷的微粒被液滴或填料物质所捕集。

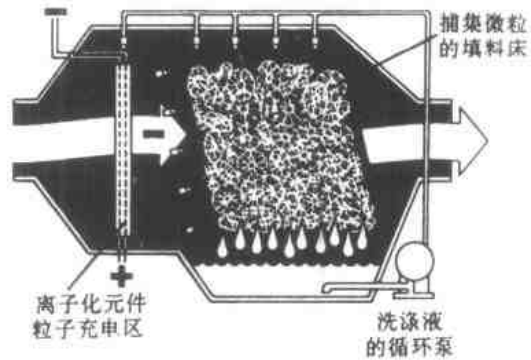


图 27-30 湿式电除尘器与填料床洗气器相结合的混合型 (Ceilcote 公司 Air Pollution Control 分公司)

参考文献

- (1) PINKERTON, J. E. Significance of MP10 Regulations for the Forest Products Industry *Tappi Journal* (August 1988)
- (2) ESPLIN, G. J. Total Reduced Sulfur Emissions From Effluent Lagoons *P & P Canada* 90: 10; T398 (October 1989)
- (3) CREIGHTON, D. M. TRS Measurement; Guide to More Efficient Boiler Operation *Pulp & Paper* (April 1971)
- (4) POLLOCK, E. and WALKER, R. T. Energy Usage in Air Pollution Control Equipment *P & P Canada* 87: 1; T11 (January 1986)
- (5) ALEXANDER, J. C. Control of Particulate Emissions from Bark and Wood Fired Boilers With the Electrified Filter Bed *P & P Canada* 87: 3; T83 (March 1986)